

PENT COOPERATION TREA

PCT

NOTIFICATION OF ELECTION  
(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

Assistant Commissioner for Patents  
United States Patent and Trademark  
Office  
Box PCT  
Washington, D.C.20231  
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing:  20 April 2000 (20.04.00)	
International application No.:  PCT/EP99/06591	Applicant's or agent's file reference:  29524/WO/1
International filing date:  07 September 1999 (07.09.99)	Priority date:  08 October 1998 (08.10.98)
Applicant:  BAUMGART, Jörg et al	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

in the demand filed with the International preliminary Examining Authority on:  
  
18 February 2000 (18.02.00)

in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:  
  
\_\_\_\_\_

2. The election  was

was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland  Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Authorized officer:  J. Zahra Telephone No.: (41-22) 338.83.38
---	---

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/06591

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 G01B11/30 G01N21/88

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 850 526 A (COREY H) 26 November 1974 (1974-11-26) column 3, line 43 -column 4, line 58 column 5, line 16 -column 6, line 36; claim 1; figures 1,8-12,15 ---	1,5,7,8
Y	US 5 189 490 A (SHETTY DEVADAS ET AL) 23 February 1993 (1993-02-23) column 3, line 11 -column 4, line 63 abstract; figures 1,3 ---	6
X	US 3 782 827 A (NISENSON P ET AL) 1 January 1974 (1974-01-01) column 5, line 24 -column 7, line 35; figures 1,2,7 ---	1,5,7, 11-14
X	-/-	1,5,7

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

20 December 1999

12/01/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Arca, G

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP 99/06591

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3850526	A 26-11-1974	NONE	
US 5189490	A 23-02-1993	NONE	
US 3782827	A 01-01-1974	NONE	

# INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 99/06591

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01B11/30 G01N21/88

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 7 G01B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 3 850 526 A (COREY H) 26. November 1974 (1974-11-26) Spalte 3, Zeile 43 -Spalte 4, Zeile 58	1,5,7,8
Y	Spalte 5, Zeile 16 -Spalte 6, Zeile 36; Anspruch 1; Abbildungen 1,8-12,15 ---	6
X	US 5 189 490 A (SHETTY DEVADAS ET AL) 23. Februar 1993 (1993-02-23) Spalte 3, Zeile 11 -Spalte 4, Zeile 63 Zusammenfassung; Abbildungen 1,3 ---	1,5,7, 11-14
X	US 3 782 827 A (NISENSON P ET AL) 1. Januar 1974 (1974-01-01) Spalte 5, Zeile 24 -Spalte 7, Zeile 35; Abbildungen 1,2,7 ---	1,5,7
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,

eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20. Dezember 1999

12/01/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Arca, G

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur eigenen Patentfamilie gehören

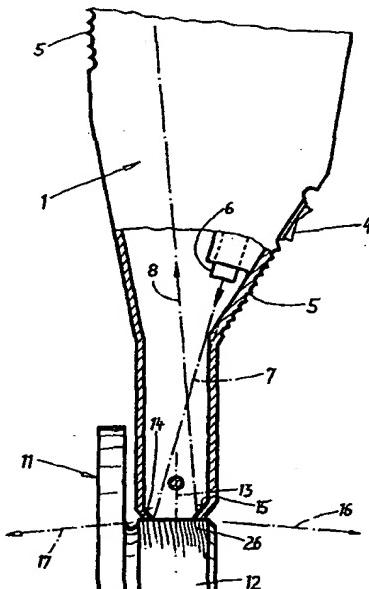
Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/06591

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3850526 A	26-11-1974	KEINE	
US 5189490 A	23-02-1993	KEINE	
US 3782827 A	01-01-1974	KEINE	



(51) Internationale Patentklassifikation 7 :  G01B 11/30, G01N 21/88		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/22377  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 20. April 2000 (20.04.00)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/06591</p> <p>(22) Internationales Anmelde datum: 7. September 1999 (07.09.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 46 302.2 8. Oktober 1998 (08.10.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse 225, D-70567 Stuttgart (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>): BAUMGART, Jörg [DE/DE]; Kurthahnstrasse 6, D-88682 Salem-Mimmenhausen (DE). RAU, Norbert [DE/DE]; Alemannenstrasse 19, D-73230 Kirchheim (DE). TRUCKENBRODT, Horst [DE/DE]; Buchenstrasse 9, D-98693 Ilmenau (DE).</p> <p>(74) Anwälte: BRÜCKNER, Ingo usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, FTP - C106, D-70546 Stuttgart (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: BR, CA, CN, CZ, HU, JP, KR, PL, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b>  <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>  <i>Mit geänderten Ansprüchen und Erklärung.</i></p>	
<p>(54) Title: MEASUREMENT OF SMALL, PERIODIC UNDULATIONS IN SURFACES</p> <p>(54) Bezeichnung: VERMESSEN KLEINER, PERIODISCHER WELLIGKEITEN IN OBERFLÄCHEN</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a method and a device for recognizing small, periodic undulations in technical surfaces according to the scattered light method, whereby the surface is illuminated with a beam of light (primary light) and the secondary light that is reflected by said surface is examined. This makes it possible to carry out measurements with a reproducible validity in a quick, freehanded manner even in the raw production stage. According to the invention, a monochromatic coherent primary light is used. Said light touches the surface of the workpiece and is directed onto the surface in an approximately perpendicular manner with respect to the expected periodic undulations. A diffraction image of the undulated surface structure is produced in the secondary light beam. The appearance of two maximums of intensity indicates that a periodic undulation is present. It is possible to deduce the periodic length of the undulation from the distance between adjacent maximums of intensity according to inverse proportionality and to deduce the depth of the undulation from the troughs of the undulations between the crests of said undulations.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten in technischen Oberflächen nach der Streulichtmethode, bei dem die Oberfläche mit einem Lichtstrahl – Primärlicht – beleuchtet und das von der Oberfläche zurückgeworfene Sekundärlicht untersucht wird. Um auf diese Weise auch im rauen Fabrikationsbetrieb rasch, freihändig und mit reproduzierbarer Aussagekraft Messungen durchführen zu können, wird erfahrungsgemäß monochromatisches, kohärentes Primärlicht verwendet, welches – die Werkstückoberfläche streifend – annähernd quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist. Dadurch wird im Sekundärlichtbündel ein Beugungsbild der wellenförmigen Oberflächenstruktur erzeugt. Das Auftreten zweier Intensitätsmaxima deutet bereits das Vorhandensein einer periodischen Welligkeit an. Aus dem Abstand benachbarter Intensitätsmaxima kann nach einer umgekehrten Proportionalität auf die Periodenlänge der Welligkeit und aus der Intensität benachbarter Intensitätsmaxima sowie aus der Periodenlänge auf die Tiefe der Wellentäler zwischen den Wellenkämmen geschlossen werden.</p>			



#### ***LEDIGLICH ZUR INFORMATION***

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

<b>AL</b>	Albanien	<b>ES</b>	Spanien	<b>LS</b>	Lesotho	<b>SI</b>	Slowenien
<b>AM</b>	Amenien	<b>FI</b>	Finnland	<b>LT</b>	Litauen	<b>SK</b>	Slowakei
<b>AT</b>	Österreich	<b>FR</b>	Frankreich	<b>LU</b>	Luxemburg	<b>SN</b>	Senegal
<b>AU</b>	Australien	<b>GA</b>	Gabun	<b>LV</b>	Lettland	<b>SZ</b>	Swasiland
<b>AZ</b>	Aserbaidschan	<b>GB</b>	Vereinigtes Königreich	<b>MC</b>	Monaco	<b>TD</b>	Tschad
<b>BA</b>	Bosnien-Herzegowina	<b>GE</b>	Georgien	<b>MD</b>	Republik Moldau	<b>TG</b>	Togo
<b>BB</b>	Barbados	<b>GH</b>	Ghana	<b>MG</b>	Madagaskar	<b>TJ</b>	Tadschikistan
<b>BE</b>	Belgien	<b>GN</b>	Guinea	<b>MK</b>	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	<b>TM</b>	Turkmenistan
<b>BF</b>	Burkina Faso	<b>GR</b>	Griechenland	<b>ML</b>	Mali	<b>TR</b>	Türkei
<b>BG</b>	Bulgarien	<b>HU</b>	Ungarn	<b>MN</b>	Mongolei	<b>TT</b>	Trinidad und Tobago
<b>BJ</b>	Benin	<b>IE</b>	Irland	<b>MR</b>	Mauretanien	<b>UA</b>	Ukraine
<b>BR</b>	Brasilien	<b>IL</b>	Israel	<b>MW</b>	Malawi	<b>UG</b>	Uganda
<b>BY</b>	Belarus	<b>IS</b>	Island	<b>MX</b>	Mexiko	<b>US</b>	Vereinigte Staaten von Amerika
<b>CA</b>	Kanada	<b>IT</b>	Italien	<b>NE</b>	Niger	<b>UZ</b>	Usbekistan
<b>CF</b>	Zentralafrikanische Republik	<b>JP</b>	Japan	<b>NL</b>	Niederlande	<b>VN</b>	Vietnam
<b>CG</b>	Kongo	<b>KE</b>	Kenia	<b>NO</b>	Norwegen	<b>YU</b>	Jugoslawien
<b>CH</b>	Schweiz	<b>KG</b>	Kirgisistan	<b>NZ</b>	Neuseeland	<b>ZW</b>	Zimbabwe
<b>CI</b>	Côte d'Ivoire	<b>KP</b>	Demokratische Volksrepublik Korea	<b>PL</b>	Polen		
<b>CM</b>	Kamerun			<b>PT</b>	Portugal		
<b>CN</b>	China	<b>KR</b>	Republik Korea	<b>RO</b>	Rumänien		
<b>CU</b>	Kuba	<b>KZ</b>	Kasachstan	<b>RU</b>	Russische Föderation		
<b>CZ</b>	Tschechische Republik	<b>LC</b>	St. Lucia	<b>SD</b>	Sudan		
<b>DE</b>	Deutschland	<b>LI</b>	Liechtenstein	<b>SE</b>	Schweden		
<b>DK</b>	Dänemark	<b>LK</b>	Sri Lanka	<b>SG</b>	Singapur		
<b>EE</b>	Estland	<b>LR</b>	Liberia				

-1-

## VERMESSEN KLEINER, PERIODISCHER WELLIGKEITEN IN OBERFLÄCHEN

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren und einer Anordnung zum Erkennen und Vermessen periodischer, kleiner Welligkeiten in technischen Oberflächen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 (Verfahren) bzw. nach dem Oberbegriff von Anspruch 7 (Anordnung), wie sie beispielsweise aus der älteren Anmeldung gemäß der nachveröffentlichtem DE 198 09 790 A1 als bekannt gelten. Nachdem die Anmelderin auf feinbearbeiteten Werkstückoberflächen unbeabsichtigte Welligkeiten der hier interessierenden Art mit einer Periodenlänge bis zu etwa 1,5 mm beobachten konnte und nicht auszuschließen ist, daß es noch größere Periodenlängen bei Welligkeiten der hier in Rede stehenden Art gibt, seien hier unter "kleinen Welligkeiten" solche mit einem gegenseitigen Abstand der Welligkeitsspitzen unterhalb von zwei Millimetern verstanden, wobei in den meisten Fällen die Periodenlänge deutlich unter einem Millimeter liegen wird.

Für eine sichere Dichtfunktion an Wellen-Durchtrittstellen durch Gehäusewandungen sind außer dem mit einer ringförmigen Radialdichtlippe versehenen Dichtring auch die Eigenschaften der wellenseitigen Gegenlauffläche mit zu berücksichtigen. Zur Herstellung glatter Oberfläche an derartigen Wellenzapfen können diese am Umfang geschliffen, feingedreht, glattgewalzt, rolliert oder außengerieben werden. Der Konstrukteur schreibt für den Wellenzapfen außer bestimmten Rauheitswerten auch noch Drallfreiheit der Oberfläche vor. Drallfrei beispielsweise von geschliffenen Oberflächen bedeutet, daß die Schleifstruktur exakt in Um-

fangsrichtung liegt und überlagerte regelmäßige Wellenanteile fehlen. Es ist jedoch in der heutigen Serienfertigung nicht nur problematisch, technische Oberflächen reproduziert sicher drallfrei herzustellen, sondern es bereitet darüber hinaus Schwierigkeiten, eine solche Drallfreiheit sicher zu erkennen und gegebenenfalls eine Drallstruktur zu quantifizieren.

Die auf die Anmelderin zurückgehende DE 197 40 141 A1 beschreibt eine mechanisch arbeitende Tastschnittmethode zur Ermittlung und Quantifizierung von hier interessierenden Drallstrukturen oder Welligkeiten, die zu zuverlässigen und quantitativ umfassenden Aussagen bezüglich praktisch aller relevanten Parameter der Drallstruktur führt. Das bekannte Tastschnittverfahren führt insbesondere auch dann, wenn die Welligkeit nur gering ausgeprägt und/oder mit einem starken stochastischen Rauheitsanteil überlagert ist, zu brauchbaren Ergebnissen, wenn man den stochastischen Rauheitsanteil aufgrund einer Autokorrelation der Oberflächendaten weitgehend eliminiert hat. Allerdings erfordert das bekannte Verfahren zur Generierung der Oberflächendaten einen hohen Zeitaufwand und muß mit großer Sorgfalt durchgeführt werden. Mit diesem Verfahren kann man daher nicht unmittelbar die Fertigung von technischen Oberflächen überwachen. Hingegen kann dieses Verfahren zur Kontrolle anderer Drallermittlungsverfahren als Referenzmethode eingesetzt werden.

In der eingangs erwähnten älteren Anmeldung der Anmelderin gemäß der nachveröffentlichten DE 198 09 790 A1 ist ein berührungslos optisch arbeitendes Verfahren beschrieben, bei dem die Rohdaten der zu untersuchenden Oberfläche aus einer unmittelbaren, vergrößerten Abbildung eines kleinen Ausschnittes der Oberfläche gewonnen werden. Das Verfahren arbeitet mit beliebigem Licht als Primärlichtart. Die damit beleuchtete Oberfläche wird unter Verwendung einer Abbildungsoptik scharf auf einer Mattscheibe oder auf einem Pho-

todiodenarray hoher Auflösung abgebildet. Bei diesem Verfahren sind grobe und stark geneigte Drallstrukturen ohne weitere Verarbeitung der Bilddaten direkt aus dem visuellen Bildeindruck erkennbar. Derartige stark ausgeprägte Drallstrukturen sind jedoch dem geübten Auge auch so, d.h. lediglich bei geeigneter Beleuchtung und unter Zuhilfenahme einer Lupe, erkennbar. Derartige, grobe Fälle treten in der Praxis im übrigen selten auf und bereiten bezüglich ihrer Erkennbarkeit keine Probleme. Bei geringer ausgeprägten und/oder wenig geneigten Drallstrukturen müssen jedoch nach dem genannten Verfahren Bilddatensätze von mehreren benachbarten Oberflächenpartien generiert und diese lagerichtig zu einem einheitlichen Bilddatensatz vereinigt werden, wobei jeder einzelne Bilddatensatz zuvor jeweils einer Radontransformation unterworfen wird.

Zwar arbeitet das erwähnte Drallermittlungsverfahren gemäß der nachveröffentlichten DE 198 09 790 A1 schneller als die Tastschnittmethode, jedoch erfordert es in sofern ebenfalls eine gewisse Sorgfalt, als zum einen die Referenzlage des Werkstückes zur Meßeinrichtung genau bekannt sein muß und als zum anderen Meßgerät und Werkstück während der Messung absolut ruhig zueinander gehalten werden müssen. In der bekannten Relativlage von Werkstückachse und Meßeinrichtung müssen mehrere Aufnahmen in dichter Folge gemacht werden, was ebenfalls zeitaufwendig ist und Sorgfalt erfordert. Darüber hinaus erfordert auch die Auswertung in sofern eine gewisse Sorgfalt und Überwachung, als die einzelnen Bilder hinsichtlich einer einheitlichen mittleren Grauwertvereilung einander angepaßt werden müssen. Das bekannte Verfahren liefert zwar Aussagen über den Abstand der Wellen und deren Neigung gegenüber einer Referenzrichtung. Aussagen über die Tiefe der Welligkeiten oder deren Querschnitt können mit dieser Methode jedoch nicht unmittelbar und nur mit Einschränkungen gewonnen werden. Mit dem bekannten Verfahren läßt sich im Labor an in begrenzter Zahl bereitgestellten Werkstücken das Vorhandensein oder Fehlen eines Ober-

flächendralls nachweisen, jedoch ist das Verfahren für einen Einsatz in der Fertigung weniger geeignet.

Aufgabe der Erfindung ist es, das gattungsgemäß zugrundegelegte Verfahren bzw. eine entsprechende Anordnung in Richtung Fabrikationstauglichkeit so zu verbessern, daß eine Messung rasch, freihändig und mit reproduzierbarer Aussagekraft durchgeführt werden kann. Insbesondere soll eine exakte relative Ausrichtung von Werkstück und Gerät für das Meßergebnis nicht mehr erforderlich sein; trotzdem soll aber selbst bei einer relativ unruhigen Handhalterung sowohl des Werkstücks als auch des Gerätes eine hinreichende Stabilität des Meßbildes gewährleistet sein. Dabei soll eine einzige Messung nicht nur zu einer zuverlässigen qualitativen Aussage führen, ob eine periodische Oberflächenwelligkeit "vorhanden" oder "nicht vorhanden" ist, sondern es sollen gegebenenfalls - bei entsprechender Bilddatenauswertung - auch quantitative Aussagen über die Periodenlänge und die Tiefe der Welligkeit möglich sein.

Diese Aufgabe wird bei Zugrundelegung des gattungsgemäßen Verfahrens erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 und bezüglich der entsprechenden Anordnung durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 7 gelöst.

Erfindungsgemäß wird mittels monochromatischem, kohärentem Licht, welches die Wellenkämme der Oberfläche quer zu ihrer Längserstreckung bei großem Einfallswinkel - annähernd streifender Einfall - trifft, unter Ausnutzung der Beugung an der wellenförmigen Oberflächenstruktur als Beugungsgitter ein Beugungsbild erzeugt und die Intensitätsverteilung in demselben ausgewertet. Durch den großen Einfallwinkel des Lichtes wird der Einfluß des Streulichtes der stochastischen Schleifstruktur im Beugungsbild weitgehend eliminiert. Das Beugungsbild steht ungeachtet einer mehr oder weniger guten Ruhighaltung der Meßeinrichtung relativ zum

Werkstück stabil und ruhig. Außerdem hängt die Qualität des Beugungsbildes innerhalb vernünftiger Grenzen nicht von der relativen Ausrichtung von Werkstück und Meßeinrichtung ab. Aus dem Auftreten eines lokalen Intensitätsmaximums in der Streulichtkeule kann sofort erkannt werden, daß eine Drallstruktur vorliegt. Aus dem Abstand mehrerer Maxima - es handelt sich dabei um unterschiedliche Beugungsordnungen - kann auf die Abstände der Wellenkämme geschlossen werden. Dabei verhalten sich die Abstände der Intensitätsmaxima annähernd umgekehrt proportional zu den Wellenkamm-Abständen, d.h. eine sehr dichte Folge von Wellenkämmen ruft in der Intensitätsverteilung der Streulichtkeule weit beabstandete Helligkeitsmaxima hervor, wogegen im Fall größerer Abstände der Wellenkämme die Intensitätsmaxima dichter beieinander liegen. Unter Auswertung der Intensitäten der verschiedenen Beugungsordnungen und der Periodenlänge kann sogar auf die Tiefe der Wellentäler geschlossen werden. Hingegen ist es bei der vorliegenden Erfindung problematisch, Informationen über die Winkellage der Welligkeiten in Relation zur exakten Umfangsrichtung zu bekommen.

Vor einer näheren Erläuterung der Erfindung seien zur Terminologie noch einige Bemerkungen gemacht. Es ist zum einen mehrfach von "Primärlicht" und "Sekundärlicht" und zum anderen von einem "Beugungsbild" im Sekundärstrahl die Rede. Bei dem hier verwendeten Begriff "Primärlicht" handelt es sich um Licht, welches auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche eingestrahlt wird, also um einfallendes Licht. Beim "Sekundärlicht" handelt es sich nicht etwa um Licht einer Fluoreszenzerscheinung, sondern um das von der Werkstückoberfläche zurückgeworfene, gestreute, gebüugte oder reflektierte Licht. Es soll ferner trotz Verwendung des Begriffes "Beugungsbild" nicht der Gedanke vermittelt werden, daß es sich vorliegend um ein bildgebendes Verfahren oder eine bildgebende Vorrichtung handelt. Durch die wellige Oberflächenstruktur wird das Primärlicht gebeugt und im Sekundärstrahl eine der Beugung entsprechende Intensitätsver-

teilung hervorgerufen. Die spezifische Art der jeweiligen Intensitätsverteilung dieser Beugung ist mit "Beugungsbild" gemeint. Eine bildhafte Darstellung des "Beugungsbildes" zur Auswertung dieser Intensitätsverteilung z.B. durch bildgebende Objektive o.dgl. ist nicht nur unnötig, sondern wäre geradezu abwegig. Zur visuellen Intensitätsauswertung genügt das unmittelbare Einfangen des "Beugungsbildes" auf einer Mattscheibe.

Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden; im übrigen ist die Erfindung anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele nachfolgend noch erläutert; dabei zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines Handgerätes zur erfundungsgemäßen Überprüfung von Werkstückoberflächen bezüglich periodischer Welligkeiten mit visueller Bewertung des Sekundärlichtes,

Fig. 2 einen Querschnitt durch den unteren Teil des Handgerätes nach Figur 1,

Fig. 3 ein in einem Stativ oberhalb einer Werkstückaufnahme gehaltertes Handgerät nach Figur 1 mit einer über einen Adapter angedockten Digitalkamera,

Fig. 4 einen stark vergrößerten und stark überhöht dargestellten Querschnitt durch einen kleinen Ausschnitt einer Werkstückoberfläche, wobei ein kleiner Ausschnitt daraus noch stärker vergrößert herausgehoben ist,

Fig. 5 ebenfalls einen stark vergrößert und überhöht dargestellten Querschnitt durch einen Ausschnitt einer anderen Werkstückoberfläche mit zwei überlagerten periodischen Welligkeiten unterschiedlicher Wellenlänge,

Fig. 6 die bei der Beobachtung der Werkstückoberfläche nach Figur 5 mit dem Handgerät nach Figur 1 erhältliche Anzeige des Beugungsbildes,

Fig. 7 im oberen Bildteil (a) eine Helligkeits-invers dargestellte, flächige Helligkeitsverteilung eines Beugungsbildes und im unteren Bildteil (b) ein dazu gehöriges Diagramm, das den Verlauf der Intensität entlang der Linie b-b im Bildteil (a) darstellt und

Fig. 8 ein den Zusammenhang einer aus den Intensitätswerten  $i_1$  und  $i_2$  ermittelten Hilfsgröße  $k$ , der Periodenlänge  $L$  der Welligkeit und der Wellentiefe  $T$  zeigendes Diagramm, welches zur Ermittlung der Wellentiefe  $T$  verwendet wird.

Die Figuren 1 und 2 zeigen ein Handgerät 1 zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten 26 (Figur 4 oder 5) in der Oberfläche 12 eines Werkstücks 11, welches nach der Streulichtmethode arbeitet. Es wird auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche 12 definiert aufgesetzt. Ein von einer Primärlichtquelle ausgehendes Lichtbündel - Lichtwelle - wird unter einer bestimmten Richtung auf die Werkstückoberfläche gerichtet und die von der Werkstückoberfläche zurückgeworfene Streulichtkeule in einer Sekundärlicht-Anzeige der Meßvorrichtung einfangen.

Um das Handgerät fabrikationstauglich zu machen und mit ihm auf einfache Weise rasch, freihändig und mit reproduzierbarer Aussagekraft kleine, periodische Welligkeiten erkennen zu können, ist es erfindungsgemäß auf folgende Weise ausgebildet:

Das ergonomisch zweckmäßig gestaltete und mit einem leichten Kunststoffgehäuse versehene Handgerät 1 ist handlich und kann aufgrund der erfindungsgemäßen Wirkungsweise auch

manuell geführt werden und liefert gleichwohl standsichere Meßbilder. In das Handgerät ist als Primärlichtquelle eine Laserdiode 6 mit integrierter Kollimationsoptik eingebaut, die einen monochromatischen, kohärenten Primärlichtstrahl 7 aussendet. Grundsätzlich käme auch ein He/Ne-Laser als Primärlichtquelle in Frage, der jedoch nicht so kompakt wie eine Laserdiode ist und für Handgeräte der vorgestellten Art von der Baugröße her nicht zu empfehlen ist. Eine Leistung der Schutzklasse I für leistungsschwache Lasergeräte ist für die vorliegenden Zwecke ausreichend. In das Handgerät ist ein durch eine Tellerschraube 3 verschließbares Batteriefach integriert. Die darin aufgenommene Mignon-Zelle liefert die Energie für das Primärlicht, welches mittels eines griffigünstig neben einer geriffelten Greiffläche 5 angeordneten Schalters 4 bedarfsweise eingeschaltet werden kann.

Im Bereich des Austritts des Primärlichtstrahls 7 aus dem Handgerät 1 ist eine Aufsetzfläche 2 zum Aufsetzen des Gerätes auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche 12 am Gerätekörper vorgesehen. Da Untersuchungen an mehr oder weniger stark gekrümmten und auch an ebenen Oberflächen durchgeführt werden sollen, ist beim dargestellten Ausführungsbeispiel die Aufsetzfläche eben gestaltet und mit einer kleinen Stahlplatte armiert, die das Austrittsfenster umschließt. Im Bereich dieses Austrittsfensters bewirkt der Umlenkspiegel 14 die Ablenkung des Primärstrahls 7, so daß er bei ordnungsgemäßem Aufsetzen der Meßvorrichtung 1 auf das Werkstück 11 annähernd streifend (Einfallsrichtung 16) auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche 12 auftrifft. Und zwar trifft der Primärlichtstrahl 7 unter einem bestimmten, großen Einfallswinkel auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche 12 auf, der - zur Oberflächennormalen 13 gemessen - im Bereich von etwa 75-88 Grad, vorzugsweise von etwa  $83 \pm 2$  Grad liegen kann. Aufgrund der ebenen Ausgestaltung der Aufsetzfläche 2 des Handgerätes kann diese nach dem Aufsetzen auf die Werkstückoberfläche durch leicht-

tes Schwenken des Gerätes um die Hochachse bezüglich des Primärstrahls 7 zumindest annähernd quer zu etwaigen, zu erwartenden periodischen Welligkeiten 26 der Werkstückoberfläche 12 ausgerichtet werden. Im Sekundärlichtbereich sind - abgesehen von einem Umlenkspiegel - keine optischen Einbauteile, also beispielsweise keine Abbildungs- oder Fokussierungsoptik od.dgl., im Handgerät vorgesehen. Die Sekundärlicht-Anzeige fängt das vom Primärlicht an der wellenförmigen Struktur der Werkstückoberfläche hervorgerufene Beugungsbild unmittelbar ein. Zur Ermittlung etwaiger periodischer Welligkeiten in der Werkstückoberfläche wird die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes ausgewertet.

Da die zu detektierenden Welligkeiten der meist zylindrischen Werkstückoberflächen in Umfangsrichtung orientiert sind, muß die Achse des einfallenden Primärstrahls zumindest angenähert in einer die Zylinderachse einschließenden Ebene liegen. Um das Handgerät auf relativ kurzen und vertieft liegenden Bauteilflächen in axialer Richtung (Figur 2) ordnungsgemäß aufzusetzen zu können, muß das Handgerät im Bereich des Austrittsfensters raumsparend gestaltet sein. Deshalb ist der Primärstrahl 7 und der Sekundärstrahl 8 in der Weise raumsparend in dem Handgerät abgewinkelt, daß der vordere Primärstrahl-Anteil und der hintere Sekundärstrahl-Anteil im wesentlichen quer zur Werkstückoberfläche 12 ausgerichtet sind. Zu diesem Zweck ist seitlich in der Begrenzung des Austrittsfensters, d.h. in geringem Abstand von der Auftreffstelle des Primärstrahls 7 auf der Werkstückoberfläche, jeweils ein kleiner Umlenkspiegel 14 für den Primärstrahl und ein weiterer kleiner Umlenkspiegel 15 für den Sekundärstrahl angeordnet. Um den unteren Teil des Gehäuses, den Strahlenschacht in Axialrichtung des Bauteils 11 gesehen besonders kurz gestalten zu können, sind beim dargestellten Ausführungsbeispiel die Umlenkspiegel 14, 15 derart angeordnet, daß der vor dem Primärstrahl-Umlenkorgan 14 liegende Strahlanteil des Primärstrahls 7 einerseits und der hinter dem Sekundärstrahl-Umlenkorgan 15 liegende

-10-

Strahlanteil des Sekundärstrahls 8 andererseits sich gegenseitig mit einem relativ kleinen Winkel überkreuzen. Durch diese Strahlanordnung kann nicht nur eine besonders platzsparende Bauweise im vorderen Teil des Handgerätes erzielt werden, sondern es kann damit auch die Anzahl der erforderlichen Strahlumlenkungen minimal gehalten werden, was außer einem möglichst geringen Verlust an Lichtausbeute nicht nur Kosten- und Gewichtsvorteile, sondern auch Wartungs- und Justagevorteile mit sich bringt.

Anstelle der Umlenkspiegel kann auch ein Umlenkprisma eingesetzt werden. Das Umlenkprisma könnte gegebenenfalls in vorteilhafter Weise mit der erwähnten Armierungsplatte zur Begrenzung des Austrittsfensters zu einer in sich stabilen Baugruppe vereinigt sein.

Bei dem Handgerät 1 ist die Sekundärlicht-Anzeige als Mattscheibe 10 ausgebildet, die die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes unmittelbar sichtbar macht, so daß es visuell bewertet und in Ansätzen sogar ausgewertet werden kann. Die auf der Mattscheibe erkennbare Intensitätsverteilung des Beugungsbildes steht trotz einer gewissen Handunruhe seitens des Werkstückes und/oder seitens des Handgerätes sehr ruhig auf der Mattscheibe. Zur Abschattung von störendem Fremdlicht ist die Mattscheibe vertieft am Grunde eines Beobachtungsschachtes 9 angeordnet. Dieser kann auch zur Adaptierung eines Fotodetektors oder einer Digitalkamera an das Handgerät ausgenutzt werden.

Zur quantitativen Auswertung des Beugungsbildes muß die Intensität in demselben gemessen werden. Dazu ist eine Fotodetektorzeile oder eine Fotodetektormatrix vorzusehen. Ein solcher Fotodetektor ist in den Figuren 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel nicht vorgesehen. Es ist jedoch denkbar, anstelle der Mattscheibe 10 einen solchen Fotodetektor vorzusehen. Dafür kommen z.B. CCD-Zeilen oder CCD-Matrizen, Spektrometerzeile oder -matrizen, andere Fo-

todiodenzeilen oder -matrizen o.dgl. in Frage. Dabei wäre es allerdings zweckmäßig, in der Sekundärlicht-Anzeige sowohl eine Mattscheibe, auf der die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes unmittelbar aufgefangen und wahrgenommen werden kann, als auch einen Fotodetektor der genannten Art, mit der die Intensitätsverteilung im Beugungsbild ortsabhängig meßbar ist, anzuordnen. Hierbei könnte der Sekundärstrahlengang der Mattscheibe einerseits bzw. dem Fotodetektor andererseits über einen Strahlteiler - simultan - oder über einen Klappspiegel - nacheinander - zugeleitet werden. Die mit dem Fotodetektor gemessenen Intensitäten können mit einem beigestellten Computer ausgewertet werden. Eine andere Möglichkeit zur Meßwert-Auswertung und -Anzeige besteht in einer Koppelung des Fotodetektors mit einem digitalen Signalprozessor und einer LCD-Anzeige. Der Vorteil der zuletzt genannten Variante besteht in einer kompakten Ausführung des Meßgerätes einschließlich zugehöriger Datenverarbeitung ohne eine zusätzliche Computereinheit.

In Figur 3 ist noch eine andere Möglichkeit zur gezielten Auswertung des Sekundärlichtes dargestellt, welche das Handgerät mit ausnutzt. Dort ist das Handgerät 1 mittels einer Haltevorrichtung 21 und einem Stativ 20 auf einem Tisch 18 oberhalb eines Einlegeprismas 19 für ein Werkstück 11 stationär gehalten. In den Beobachtungsschacht 9 des Handgerätes 1 (siehe Figur 1) ist ein Adapter 22 lagestabil eingesetzt, mit dem eine digital arbeitende Kamera 23 an das Handgerät adaptiert ist. Die Digitalkamera, die anstelle ihres Objektives den Adapter 22 trägt, kann bedarfsweise vom Handgerät nach oben abgezogen bzw. aufgesteckt werden. Bei aufgesteckter Digitalkamera muß die Mattscheibe entfernt werden. Das Sekundärlicht kann dann am Sucher der Digitalkamera beobachtet werden. Mit der Aufnahmetechnik der digital arbeitenden Kamera kann die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes des Sekundärstrahlenganges 8 als datenverarbeitbarer Bilddatensatz auf einem speziellen, kamera-

integrierten aber herausnehmbaren Datenträger aufgenommen und darauf gespeichert werden.

Die aufgenommenen Bilddaten können auf verschiedene Weise von der Fabrikationsstätte zu einem Auswertelabor weiter gegeben werden, von wo der Befund, nämlich die Parameterwerte der Welligkeitsstruktur der Oberfläche, zur Fabrikationsstätte zurück übermittelt werden kann. Der Versand der Bilddaten kann auf Datenträger, nämlich auf dem speziellen Kamera-Datenträger oder - nach Überspielen auf eine herkömmliche Diskette - auf einer solchen Diskette als Datenträger erfolgen. Die Bilddaten können aber auch im Wege der Datenfernübertragung per Leitung zum Auswertelabor übermittelt werden.

Nachfolgend soll noch auf die Vorgehensweise beim Erkennen und gegebenenfalls quantitativen Ermitteln der Oberflächen-Welligkeiten mit dem beschriebenen Gerät unter Bezugnahme auf die stark vergrößert und überhöht dargestellten Oberflächenstrukturen nach den Figuren 4 und 5 näher eingegangen werden. Die z.B. umfangsgeschliffene Oberfläche des Werkstückes 11 (Figur 4) bzw. 11' (Figur 5) ist in diesen ausschnittsweisen Darstellungen in ihrer Makrogestalt als durchgehende Fläche gar nicht mehr erkennbar.

In diesem Zusammenhang sollen zunächst zwei hier verwendete topographische Begriffe, nämlich "Schleifstruktur" im Sinne einer überlagerten stochastischen Feinstruktur einerseits und periodische "Drallstruktur" oder "Welligkeit" andererseits erläutert werden. Bei beiden Begriffen handelt sich um Mikro-Abweichungen von der idealen Makroform der Oberfläche, jedoch unterscheiden sich die beiden Mikro-Strukturen hinsichtlich hier interessierender Kriterien zum einen durch das Ausmaß oder die Tiefe, mit dem sie am Werkstück auftreten. Zum anderen unterscheiden sich die beiden Mikro-Strukturen in formaler und statistischer Hinsicht. Die feinen, in aller Regel exakt in Umfangsrichtung ausge-

richteten Schleifstrukturen 24 (siehe Figur 4) weisen vergleichsweise steile Seitenflanken auf, treten aber ansonsten in ihrer Querschnittsform weitgehend stochastisch in Erscheinung. Dem gegenüber sind die beobachteten Drallstrukturen oder Welligkeiten 26 wesentlich flacher an den Flanken und haben eine mehr oder weniger stark ausgeprägte periodische Formkomponente. Typischerweise ist einer periodischen Welligkeit oder Drallstruktur 26 eine aus vielen kleinen stochastischen Einkerbungen gebildete Schleifstruktur 24 mit steileren Flanken und wesentlich kleineren Tiefenabmessungen als der Welligkeit überlagert.

In dem Profil nach Figur 4 sind Wellen 26 regelmäßig, also periodisch nebeneinander angeordnet. Aufgrund der stark überhöhten Darstellung des Rauheitsprofils ist die als Pfeil dargestellte Anstrahlung-Richtung 16 nicht mehr winkelgetreu, d.h. die flach einfallende Primärstrahlung 8 erreicht auch noch den Grund der Täler und die lichtabgewandte Seitenflanke der Welligkeiten. Bei dieser annähernd streifenden Ausleuchtung werden hingegen die steil eingeschnittenen Einkerbungen der Schleif- oder Feinstruktur 24 weitgehend abgeschattet (Abschattungszonen 25), so daß sie das zurückgeworfene Licht nur in einem sehr geringen, praktisch vernachlässigbaren Ausmaß beeinflussen können. Demgegenüber wird die wesentlich flachere Drallstruktur 26 weitgehend ausgeleuchtet. Dadurch tritt die an der wellenförmigen Drallstruktur hervorgerufene Beugung des monochromatischen und kohärenten Primärlichtes wesentlich stärker gegenüber einer überlagerten Beugung an der Schleifstruktur 24 in Erscheinung. Die nullte Beugungsordnung liegt in der Richtung 17 des Sekundärstrahles 8, die der an der idealen Makro-Oberfläche direkt reflektierten Ablenkrichtung entspricht. Falls die Oberfläche wellig ist und Beugung auftritt, ist in einem gewissen Abstand neben der nullten Beugungsordnung in der Regel noch eine weitere, die erste Beugungsordnung im Beugungsbild wahrnehmbar.

-14-

Die von den verschiedenen Wellenkämmen 27 ausgehenden, in der Tiefe gestaffelt liegenden Wellenfronten interferieren miteinander und rufen in dem Sekundärlicht ein Beugungsbild hervor, von denen wenigstens die nullte und die erste Beugungsordnung als Intensitätsmaxima erkennbar sind. Wenn keine periodischen Welligkeiten auf der Oberfläche vorhanden sind, kommt es auch nicht zur Ausbildung eines Beugungsbildes im Sekundärlicht. In diesem Fall sind auch nicht zwei beabstandete Intensitätsmaxima wahrnehmbar. Aus dem Auftreten zweier unterscheidbarer Intensitätsmaxima kann also zuverlässig auf ein "reflektierendes Beugungsgitter", nämlich auf eine Folge von periodischen Wellen in der zu untersuchenden Oberfläche geschlossen werden.

Andere Oberflächenstrukturen rufen andere Intensitätsverteilungen im Sekundärlicht hervor. Beispielsweise wird eine ideal spiegelnde Oberfläche die Intensitätsverteilung des Primärstrahles auch im Sekundärstrahl wiedergeben. Es wird in einem solchen Fall nur eine einzige Hellstelle im Sekundärlicht wahrnehmbar sein. Bei einer durchweg stochastisch rauen Oberfläche ohne periodische Welligkeiten wird eine gleichmäßige Intensitätsverteilung mit mehr oder weniger stark ausgeprägter Speckle-Struktur beobachtet.

An dieser Stelle sei der Vollständigkeit halber noch erwähnt, daß die Hellstellen je nach Stärke der Krümmung der zylindrischen Oberfläche 12 als mehr oder weniger stark in Axialrichtung verzerrte Ovale erscheinen; bei kleineren Zylinderdurchmessern kann die lange Achse des Ovals größer sein als die entsprechende lichte Weite der Mattscheibe, so daß die Hellstelle als heller Strich erscheint..

Am Beispiel der beiden Figuren 5 und 6 soll nun erläutert werden, daß mit der erfundungsgemäßen Methode auch auf die Periodenlänge der regelmäßigen Welligkeit geschlossen werden kann. Die in Figur 5 vergrößert dargestellte Textur der Oberfläche des Werkstückes 11' weist zwei überlagerte peri-

odische Welligkeiten stark unterschiedlicher Periodenlänge auf, nämlich kleine Wellen  $26_k$  mit einer kleinen Periodenlänge  $L_k$  und große Wellen  $26_g$  mit einer großen Periodenlänge  $L_g$ . Beim "Betrachten" dieser Oberfläche mit dem Handgerät 1 zeigt sich auf dessen Mattscheibe 10 das in Figur 6 gezeigte Bild. Es sind zwei in Streifen aufgelöste Intensitätsmaxima mit einem relativ großen gegenseitigen Abstand  $a_k$  erkennbar, die der Welligkeit der kleinen Wellen  $26_k$  zuzuordnen ist. Die einzelnen Streifen der beiden Intensitätsmaxima haben untereinander einen relativ geringen Abstand  $a_g$ , der zur Welligkeit der großen Wellen  $26_g$  gehört.

Zwischen dem Abstand  $a$  der Intensitätsmaxima innerhalb des Beugungsbildes des Sekundärlichtes und der Periodenlänge  $L$  der Welligkeit besteht ein angenähert umgekehrt proportionaler Zusammenhang: Je kleiner der Abstand  $a$  der Hellstellen, desto größer ist die Periodenlänge  $L$  der Welligkeit und umgekehrt. Aus dem Abstand  $a$  der Intensitätsmaxima kann nach der Beziehung  $a \approx f/L$  die Periodenlänge  $L$  mit guter Annäherung ermittelt werden. Der darin enthaltene Faktor  $f$  ist eine Gerätekonstante, die zuvor empirisch anhand bekannter Oberflächentexturen ermittelt werden muß. Ein Vergleich der Meßergebnisse nach der vorliegenden Erfindung einerseits mit Referenzproben anderseits, deren Periodenlänge nach der aufwendigen Tastschnittmethode ermittelt wurde, hat ergeben, daß die Entsprechung sehr gut ist und z.B. im Bereich von Periodenlängen von 70 bis 110  $\mu\text{m}$  ein maximaler Fehler von  $\pm 5 \mu\text{m}$  zu erwarten ist.

Der Abstand der Intensitätsmaxima kann zumindest in grober Näherung bereits auf der Mattscheibe 10 ermittelt werden. Beispielsweise kann die Mattscheibe mit einer Skalierung versehen sein und danach der Abstand der Intensitätsmaxima abgemessen werden. Wenn die Skalierung auf der Mattscheibe verschiebbar ist, kann ihr Nullpunkt mit einem, vorzugsweise dem hellsten Intensitätsmaximum in Übereinstimmung gebracht und dann der Abstand der Intensitätsmaxima an der

Skalierung abgelesen werden. Auch ein Abgreifen des Abstandes der Intensitätsmaxima mit einem Stechzirkel und ein Übertragen dieses Maßes auf ein Lineal oder ein direktes Abgreifen mit den Spitzen einer Schiebelehre erscheint möglich. Diese einfachen Verfahren sind jedoch nur eingeschränkt oder als vorläufiges Verfahren zu empfehlen.

Das Handgerät 1 mit der visuellen Auswertung des Sekundärlichtes wird man zum manuellen und nachträglichen Kontrollieren fertiger Werkstücke verwenden, beispielsweise um drallbehaftete Werkstücke danach aussortieren und zur Nacharbeit zurückzuschicken zu können. Dies kann von einem Kontrolleur oder auch vom Maschinenführer einer Produktionsanlage, auf der drallfreie Zapfenoberflächen hergestellt werden sollen, durchgeführt werden. In der Regel ist für das Selektieren drallfreier Werkstücke die visuelle und qualitative Feststellung der Welligkeit selber bzw. deren eindeutige Verneinung ausreichend, wogegen hierbei die Quantifizierung der Parameter einer aufgetretenen Welligkeit weniger wichtig ist.

Wie weiter oben schon erwähnt, lassen sich die Handgeräte mit "intelligenten" Fotodetektoren ausrüsten, die auch gewisse Meß- und Rechenoperation selbsttätig ausführen können. Derartig aufgerüstete Handgeräte können auf einem Display zumindest die Periodenlänge L und - bei vermehrter, integrierter Rechen- bzw. Auswerteleistung - auch die Tiefe T einer detektierten Welligkeit ausgeben. Zwar lassen sich solche Handgeräte, ohne ihre leichte Handhabbarkeit zu beeinträchtigen, auch dahin aufrüsten, festgestellte Parameterwerte auf Wunsch abzuspeichern, jedoch sind derartige Handgeräte in der Regel nicht für die Speicherung großer Datenmengen gedacht.

Denkbar ist auch der Einsatz des erfindungsgemäßen Welligkeitsmeßgerätes zur selbsttätigen Langzeit-Überwachung von Maschinenanlagen, auf denen drallfreie Zapfenoberflächen

hergestellt werden sollen. Insbesondere die für einen stationären Einsatz vorgesehenen Welligkeitsmeßgeräte müssen mit einer das Sekundärlicht messenden und rechnenden Auswerte-Einheit ausgerüstet sein. Etwaige Produktions- bzw. Fehlerdaten, die mit einem in den Fertigungsprozeß integrierten Welligkeitsmeßgerät ermittelbar sind, sollten im Zusammenhang mit anderen Daten der Maschinenführung wie z.B. beim Außenrundschleifen die Werkstückdrehzahl, Schleifscheibendrehzahl, Schleifscheibenvorschub, Abrichtvorschub, Werkstückzahl nach dem letzten Abrichtvorgang u.a. in ihrer zeitlichen Zuordnung durch einen Produktionsdatenschreiber bzw. -speicher gesammelt, gespeichert und ausgewertet werden. Aus der Vielzahl der Daten und dem Umstand des Auftretens bzw. Nichtauftretens von Welligkeiten können dann empirisch Produktionserfahrungen gesammelt und kritische Parameter-Paarungen vermieden werden. Diese Online-Produktionsüberwachung mit einem leistungsfähigen und stationären Datenspeicher kann maschinenintegriert oder auch abseits von der unmittelbaren Produktionsanlage in einem ruhigeren Raum der Produktionsüberwachung erfolgen.

Bei der Welligkeitserfassung kann die Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes über deren Querschnittsfläche hinweg in einen datenverarbeitbaren Satz von Bilddaten umgewandelt werden, wie ein solcher beispielsweise im oberen Bildteil (a) von Figur 7 helligkeitsinvers dargestellt ist. Dieser Bilddatensatz kann in einem entsprechend vorprogrammierten Computer oder in einem "intelligenten" geräteintegrierten Fotodetektor hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima  $I_1$ ,  $I_2$  ausgewertet werden, wobei diese als strukturelle Phänomene des sekundärlichtes mit den Großbuchstaben  $I_1$ ,  $I_2$  gekennzeichnet sind. Demgegenüber sind die Intensitätswerte in diesen Maxima mit kleinen Buchstaben  $i_1$ ,  $i_2$  in Bezug genommen. Da sich nicht alle Beugungsordnungen so deutlich wie in Figur 7 mit zwei klar erkennbaren Intensitätsmaxima, nämlich einem Hauptmaximum  $I_1$  der nullten Beugungsordnung und einem Nebenmaximum  $I_2$  der ersten Beugungsordnung

darstellen, sondern diese häufig durch ein mehr oder weniger starkes Speckle-Rauschen überlagert sind, ist es zweckmäßig, die Bild Daten der Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes zunächst einer Autokorrelation zu unterwerfen. Insbesondere schwächer ausgeprägte Drallstrukturen werden von stochastischen Rauhigkeiten etwa gleicher Größenordnung überlagert, so daß hier eine Autokorreleation besonders wichtig ist. Die Autokorrelationsfunktion stellt eine Glättung des Intensitätsverlaufes in den Beugungsordnungen dar, so daß die Maxima gut detektierbar sind. Aus den Werten der Autokorrelationsfunktion z.B. an den Stellen der nullten und der ersten Beugungsordnung können die Intensitätswerte  $i_1$  und  $i_2$  in diesen Beugungsordnungen ermittelt werden. Figur 7 zeigt den Verlauf einer solchen Autokorrelationsfunktion entlang einer Linie b-b (siehe Figur 7, Teil a) innerhalb der flächigen Intensitätsverteilung im Beugungsbild. Der Abstand  $a$  der beiden Maxima  $I_1$  und  $I_2$  sowie der jeweilige Funktionswert  $i_1$  und  $i_2$  der Autokorrelationsfunktion in den Intensitätsmaxima selber kann - wie gesagt - rechnerisch ermittelt werden.

Wie weiter oben bereits erwähnt, kann aus dem ermittelten Abstand  $a$  nach einer einfachen Reziprozitätsbeziehung die Periodenlänge  $L$  der Welligkeit näherungsweise errechnet werden. Das Beugungsbild liefert aber auch eine tiefenrelevante Information von der beugenden Welligkeitsstruktur der Werkstückoberfläche, und zwar dadurch, daß nicht nur die Wellenkämme, sondern auch die Wellentäler mit zur Entstehung des Beugungsbildes beitragen. Beispielsweise unterscheiden sich die Beugungsbilder zweier welliger Oberflächen mit untereinander gleicher Periodenlänge der Welligkeit aber unterschiedlicher Tiefe derselben voneinander. Aus den beiden Intensitätswerten  $i_1$ ,  $i_2$  der Haupt- und der Nebenintensität  $I_1$ ,  $I_2$  kann unter Berücksichtigung der Periodenlänge auf die Tiefe  $T$  der Wellentäler zwischen den Wellenkämmen geschlossen werden. Dieses Ermittlungsverfahren ist nicht ganz so einfach, wie die Ermittlung der

Periodenlänge. Um die Tiefe  $T$  der Wellentäler bestimmen zu können, muß aus den Intensitätswerten  $i_1$ ,  $i_2$  zunächst eine normierende Hilfsgröße  $k$  nach der Gleichung  $k = i_1 \times i_2 / (i_1^2 + i_2^2)$  ermittelt werden. Diese Beziehung - wie übrigens auch die weiter oben erwähnte näherungsweise Reziprozitätsbeziehung für die Periodenlänge  $L$  der Welligkeit - gilt unter gewissen idealisierenden, bei der vorliegend empfohlenen Geräteauslegung aber ohne weiteres gegebenen Vereinfachungen. Die Hilfsgröße  $k$  geht bei extrem geringen Intensitäten gegen Null. Je heller die erste Beugungsordnung ist und je mehr sich demzufolge deren Intensität der Intensität der nullten Beugungsordnung annähert, um so mehr nähert sich die Hilfsgröße  $k$  dem "Sättigungs"-wert von 0,5. Die meisten praktischen Fälle werden zwischen den eben erwähnten Extremen, also im Bereich der größten Spreizung der Diagrammlinien aus Figur 8 liegen. Unter Verwendung dieser Hilfsgröße und der zuvor schon ermittelten Periodenlänge  $L$  kann anhand der Graphik gemäß Figur 8, die auch als Datensatz in einem Computer abgespeichert und in die Rechnung einbezogen werden kann, die Tiefe  $T$  der Wellentäler ermittelt werden.

Ein Vergleich der so erhältlichen Ergebnisse der Wellentiefe  $T$  mit den nach der Tastschnittmethode gewonnenen Werten zeigt eine sehr gute Korrelation. Die erfundungsgemäß ermittelten Tiefen liegen jedoch bei geschliffenen Oberflächen gegenüber den Referenzwerten durchweg etwas niedriger, und zwar etwa bei  $62 \pm 5\%$  der Referenzwerte nach der Tastschnittmethode. Dieser Unterschied ist auf die unterschiedlichen Bandweitenbegrenzungen der beiden Verfahren zurückzuführen. Während die Tastschnittmessung auch Details der Schleiftopografie erfaßt, werden diese Details bei der streifenden Beleuchtung unterdrückt. Für den Fall, daß ein direkter Vergleich gefordert ist, müssen die erfundungsgemäß gefundenen Tiefenwerte mit einem Korrekturfaktor (bei geschliffenen Flächen etwa 1,6) multipliziert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten in technischen Oberflächen, bei dem die Oberfläche mit einem Lichtstrahl - Primärlicht - beleuchtet und das von der Oberfläche zurückgeworfene Sekundärlicht untersucht wird,

dadurch gekennzeichnet, daß unter Verwendung von monochromatischem, kohärentem Primärlicht (7), welches die Werkstückoberfläche (12) annähernd streifend trifft und welches annähernd quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten (26) auf die Werkstückoberfläche (12) gerichtet wird, ein Beugungsbild der periodischen Welligkeiten (26) im Sekundärlicht (8) erzeugt und daraus die Intensitätsverteilung ausgewertet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß das Sekundärlicht (8) auf einer Mattscheibe (10) eingefangen und deren Intensitätsverteilung visuell hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima ( $I_1, I_2$ ) ausgewertet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß die Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes (8) über deren Querschnittsfläche hinweg ortsabhängig gemessen und die Meßwerte hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima ( $I_1, I_2$ ) ausgewertet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes (8) einer Au-  
tokorrelation unterworfen und die daraus gewonnene Autokor-  
relationsfunktion ausgewertet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der (a) Abstand benachbarter Intenstättsmaxima ( $I_1, I_2$ ) er-  
mittelt und daraus auf die Periodenlänge (L) der Welligkeit  
(26) geschlossen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Intensitätswerte ( $i_1, i_2$ ) benachbarter Intenstättsmaxima  
( $I_1, I_2$ ) ermittelt und daraus sowie aus der Periodenlänge  
(L) der Welligkeit (26) auf die Tiefe (T) der Wellentäler  
zwischen den Wellenkämmen (27) geschlossen wird.

7. Anordnung zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkei-  
ten in der Oberfläche eines Werkstücks, umfassend eine auf  
die zu untersuchende Werkstückoberfläche definiert aufsetz-  
bare Meßvorrichtung, mit einer einen Lichtstrahl unter ei-  
ner bestimmten Richtung auf die Werkstückoberfläche rich-  
tenden Primärlichtquelle und einer die von der Werkstücko-  
berfläche zurückgeworfene Streulichtkeule einfangenden Se-  
kundärlicht-Anzeige in der Meßvorrichtung, insbesondere zum  
Ausüben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
gekennzeichnet durch die Gemeinsamkeit  
folgender Merkmale der Meßvorrichtung:

- die Primärlichtquelle (6) ist zum Aussenden eines mono-  
chromatischen, kohärenten Primärlichtstrahles (7) ausge-  
bildet,
- zumindest im Bereich des Austritts des Primärlicht-  
strahls (7) aus der Meßvorrichtung (1) ist dieser so ge-  
richtet (16), daß er bei ordnungsgemäßem Aufsetzen der  
Meßvorrichtung (1) auf das Werkstück (11) annähernd

-22-

streifend auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche (12) auftrifft,

- die Meßvorrichtung (1) ist so ausgebildet, daß sie nach dem Aufsetzen auf die Werkstückoberfläche (12) bezüglich des Primärstrahls (7) zumindest annähernd quer zu etwai- gen zu erwartenden periodischen Welligkeiten (26) der Werkstückoberfläche (12) ausrichtbar ist,
- die Sekundärlicht-Anzeige fängt die Streulichtkeule un- mittelbar, d.h. ohne Abbildungsoptik o.dgl., als Beugungsbild der Welle (26) ein, wobei die Intensi- tätsverteilung im Beugungsbild auswertbar ist.

8. Anordnung nach Anspruch 7,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Meßvorrichtung (1) so ausgebildet ist, daß bei ord-  
nungsgemäßem Aufsetzen der Meßvorrichtung (1) auf das Werk-  
stück (11) der Primärlichtstrahl (7) unter einem zur Ober-  
flächennormalen (13) gemessenen Einfallswinkel von etwa 75-  
88 Grad, vorzugsweise von etwa  $83 \pm 2$  Grad auf die zu unter-  
suchende Werkstückoberfläche (12) auftrifft.

9. Anordnung nach Anspruch 7,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
der Primärstrahl (7) und der Sekundärstrahl (8) durch in  
geringem Abstand von der Auftreffstelle des Primärstrahls  
(7) auf der Werkstückoberfläche (12) angeordnete optische  
Umlenkelemente wie Spiegel (14, 15) oder Umlenkprisma raum-  
sparend abgewinkelt und in dem vor dem Primärstrahl-Uhlen-  
element (14) bzw. hinter dem Sekundärstrahl-Uhlenkelement  
(15) liegenden Strahlanteil im wesentlichen quer zur Werk-  
stückoberfläche (12) ausgerichtet sind.

10. Anordnung nach Anspruch 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die optischen Umlenkelemente (14, 15) derart angeordnet  
sind, daß der vor dem Primärstrahl-Uhlenkelement (14) lie-  
genden Strahlanteil des Primärstrahls (7) einerseits und

der hinter dem Sekundärstrahl-Umlenkelement (15) liegenden Strahlanteil des Sekundärstrahls (8) andererseits sich gegenseitig überkreuzen.

11. Anordnung nach Anspruch 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß  
die Sekundärlicht-Anzeige als die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes visuell sichtbar machende Mattscheibe (10) ausgebildet ist.

12. Anordnung nach Anspruch 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß  
die Sekundärlicht-Anzeige als eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes messende, zeilenförmige oder flächendeckende Matrix einer Vielzahl lichtempfindlicher Sensoren ausgebildet ist.

13. Anordnung nach Anspruch 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß  
in der Sekundärlicht-Anzeige sowohl eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes visuell sichtbar machende Mattscheibe (10) als auch eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes messende, zeilenförmige oder flächendeckende Matrix aus einer Vielzahl lichtempfindlicher Sensoren angeordnet ist, denen der Sekundärstrahlengang über einen Strahlteiler oder über einen Klappspiegel zugänglich ist.

14. Anordnung nach Anspruch 13,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß  
an die Meßvorrichtung (1) eine digital arbeitende Kamera (23) adaptiert (22) ist, mit der die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes des Sekundärstrahlenganges (8) registrierbar ist.

**GEÄNDERTE ANSPRÜCHE**

[beim Internationalen Büro am 17. Februar 2000 (17.02.00) eingegangen;  
ursprünglicher Anspruch 1 geändert;  
alle weiteren Ansprüche unverändert (1 Seite)]

1. Verfahren zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten in technischen Oberflächen, bei dem die Oberfläche mit einem Strahl von monochromatischem, kohärentem Licht - Primärlicht - beleuchtet und ein Beugungsbild der periodischen Welligkeiten in dem von der Oberfläche zurückgeworfenen Sekundärlicht erzeugt wird, wobei das Primärlicht unter einem großen Einfallwinkel zur Oberflächennormalen der Werkstückoberfläche und annähernd quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten auf die Werkstückoberfläche gerichtet wird, und wobei die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes ausgewertet wird,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß  
zur isolierten Ermittlung der Welligkeit (26) von geschliffenen Oberflächen, bei denen die Welligkeit (26) von feineren, steil eingekerbten, stochastischen Schleifstrukturen (24) überlagert sind, durch annähernd streifendes Einstrahlen des Primärlichtes unter einem konstanten Einfallwinkel innerhalb des Winkelbereiches von etwa  $83\pm2^\circ$  auf die Werkstückoberfläche die Schleifstrukturen (24) abgeschattet (Abschattungen 25) werden und daß aufgrund einer dadurch bewirkten isolierten Ausleuchtung der Welligkeiten (26) mit Primärlicht an deren lichtzu- und lichtabgewandten Seitenflanken und an deren Wellenkämmen (27) ein allein die Welligkeiten (26) repräsentierendes Beugungsbild erzeugt wird.

(Hierzu werden die Ansprüche 2 bis 14 in ihrer ursprünglichen Fassung weiterverfolgt)

Erklärung nach Artikel 19(1)

Der unter gleichem Datum vorgelegte neue Patentanspruch 1, der an die Stelle des ursprünglichen Anspruchs 1 treten soll, enthält in seinem kennzeichnenden Teil Merkmale, die in der ursprünglichen Beschreibung auf Seite 12, Absatz 4, auf Seite 13, Absatz 1 und in Absatz 2 in dessen Zeilen 5 - 18 geoffenbart sind.

Die nunmehr beanspruchte Erfindung geht auf die besondere Problematik der Fein-Topographie von geschliffenen Oberflächen ein, bei der einer periodischen Welligkeit eine wesentlich feinere stochastische Schleifstruktur von steil eingekerbten Schleifkornspuren überlagert ist. Durch das neue Meßverfahren soll aus diesen überlagerten Formstrukturen isoliert nur der periodische Welligkeitsanteil erfaßt werden, was erfindungsgemäß durch eine besondere Ausleuchtungstechnik erreicht wird.

Die im Recherchebericht zitierte US-PS 3 850 526 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optischen Detektion periodischer Welligkeiten in fein bearbeiteten Werkstückoberflächen gemäß den gattungsbildenden Merkmalen des neuen Anspruchs 1. Von den beteiligten Strahlen - einfallender Primärlichtstrahl und ausfallender Sekundärstrahl - wird dort der eine unter einem feststehenden Winkel von maximal 80° zur Oberflächennormalen gehalten, wogegen der Strahl- oder Auswertekanal des jeweils anderen Strahls um einen relativ großen Winkelbereich um die Lage des gespiegelten Strahles herum beweglich ist. Mittels einer schwenkbaren Strahlanordnung werden die stärksten Beugungsordnung vollständig erfaßt und in ihrem Intensitätsverlauf gemessen. Durch Vergleich der an einem Werkstück gemessenen Intensitätsverteilung des Beugungslichtes mit an verschiedenen Rauhigkeits-Standards zuvor gewonnenen Intensitätsverteilungen kann die Oberflächenrauhigkeit des zu untersuchenden Werkstückes angegeben werden.

Die bekannte Art der Oberflächenprüfung ist jedoch nicht auf geschliffene Oberflächen übertragbar, bei der zwei unterschiedlich feine Formstrukturen einander überlagert sind, von denen jedoch nur die eine interessiert. Das Beugungsbild der periodischen Welligkeiten wäre vom Speckle-Rauschen der stochastischen Schleifstrukturen total überlagert und in keiner Weise aussagekräftig. Dank der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Verfahrens werden die stochastischen Schleifstrukturen abgeschattet und isoliert nur die Welligkeiten beleuchtet, so daß ein aussagekräftiges Beugungsbild erzeugt werden kann.

Die US-PS 5 189 490 steht der beanspruchten Erfindung nicht entgegen, weil es sich um eine normale Rauhigkeitsmessung nach der Streulichtmethode handelt. Es findet keine Beugung an einer periodischen Beugungsstruktur und keine Ausrichtung des Primärlichtes quer zur Orientierung paralleler Bearbeitungsspuren statt. Das bekannte Verfahren liefert erst nach einem Vergleich des am Probanden gewöhnlichen Ist-Musters mit einer Vielzahl abgespeicherter, zuvor an bekannten Mustern erzeugter Referenzmuster mittelbar eine qualitative und quantitative Aussage über die zu untersuchenden Oberfläche.

Die US-PS 3 782 827 steht der beanspruchten Erfindung ebenfalls nicht entgegen, weil dort weder eine Reflexion, noch eine Beugung an einer periodischen Beugungsstruktur, noch eine Ausrichtung des Primärlichtes quer zur Orientierung paralleler Bearbeitungsspuren stattfindet. Auch diesem bekannten Meßverfahren liegt die bekannte Streulichtmethode zugrunde und es liefert lediglich ein gewisses Ist-Muster einer Streulichtverteilung des jeweiligen Probanden. Durch Ähnlichkeitsvergleich anhand einer Vielzahl abgespeicherter Referenzmustern kann nur mittelbar eine Aussage getroffen werden, ob oder ob nicht der untersuchte Proband eine ähnliche Oberflächentopographie hat, wie eine bekannte Probe.

## VERTRAG ÜBER

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM  
GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

REC'D 18 DEC 2000  
WIPO  
PCT

## INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Annehmers oder Anwalts  29524/WO/1	<b>WEITERES VORGEHEN</b>	siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416)
Internationales Aktenzeichen  PCT/EP99/06591	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr)  07/09/1999	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)  08/10/1998
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK G01B11/30		
Annehmer  DAIMLERCHRYSLER AG et al.		

<p>1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Annehmer gemäß Artikel 36 übermittelt.</p> <p>2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 11 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).</p> <p>Diese Anlagen umfassen insgesamt 10 Blätter.</p>
<p>3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>I    <input checked="" type="checkbox"/> Grundlage des Berichts</li> <li>II   <input type="checkbox"/> Priorität</li> <li>III   <input type="checkbox"/> Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit</li> <li>IV   <input type="checkbox"/> Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung</li> <li>V    <input checked="" type="checkbox"/> Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderische Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung</li> <li>VI   <input type="checkbox"/> Bestimmte angeführte Unterlagen</li> <li>VII   <input checked="" type="checkbox"/> Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung</li> <li>VIII   <input checked="" type="checkbox"/> Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung</li> </ul>

Datum der Einreichung des Antrags  18/02/2000	Datum der Fertigstellung dieses Berichts  7. 4. 2000
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter  Beyfuß, M  Tel. Nr. +49 89 2399 2725



**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER  
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/EP99/06591

**I. Grundlage des Berichts**

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

**Beschreibung, Seiten:**

5-19                    ursprüngliche Fassung

1-4,4a-4b            eingegangen am            06/09/2000 mit Schreiben vom    29/08/2000

**Patentansprüche, Nr.:**

1-13                    eingegangen am            06/09/2000 mit Schreiben vom    29/08/2000

**Zeichnungen, Blätter:**

1/5-5/5                ursprüngliche Fassung

2. Hinsichtlich der **Sprache**: Alle vorstehend genannten Bestandteile standen der Behörde in der Sprache, in der die internationale Anmeldung eingereicht worden ist, zur Verfügung oder wurden in dieser eingereicht, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

Die Bestandteile standen Behörde in der Sprache: , zur Verfügung bzw. wurden in dieser Sprache eingereicht; dabei handelt es sich um

- die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen Recherche eingereicht worden ist (nach Regel 23.1(b)).
- die Veröffentlichungssprache der internationalen Anmeldung (nach Regel 48.3(b)).
- die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen vorläufigen Prüfung eingereicht worden ist (nach Regel 55.2 und/oder 55.3).

3. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale vorläufige Prüfung auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das:

- in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
- zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
- bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- Die Erklärung, dass das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
- Die Erklärung, dass die in computerlesbarer Form erfassten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER  
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/EP99/06591

4. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- Beschreibung, Seiten:  
 Ansprüche, Nr.: 14  
 Zeichnungen, Blatt:

5.  Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)).

*(Auf Ersatzblätter, die solche Änderungen enthalten, ist unter Punkt 1 hinzuweisen; sie sind diesem Bericht beizufügen).*

6. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

**V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	4-13
	Nein: Ansprüche	1-3
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	4,6,8,9
	Nein: Ansprüche	5,7,10,11,12,13

Gewerbliche Anwendbarkeit (GA) Ja: Ansprüche 1-13  
Nein: Ansprüche

2. Unterlagen und Erklärungen  
siehe Beiblatt

**VII. Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung**

Es wurde festgestellt, daß die internationale Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:  
siehe Beiblatt

**VIII. Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung**

Zur Klarheit der Patentansprüche, der Beschreibung und der Zeichnungen oder zu der Frage, ob die Ansprüche in vollem Umfang durch die Beschreibung gestützt werden, ist folgendes zu bemerken:  
siehe Beiblatt

Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- D1: US-A-3 850 526
- D2: US-A-5 189 490
- D3: D. MARCUSE: "LIGHT TRANSMISSION OPTICS", VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, ISBN 0 442263090, NEW YORK, 1982, Seite 52-56
- D4: EP-A-0585839

**Zu Punkt V**

**Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erforderlichen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

1. Technisches Gebiet: Erkennen periodischer Welligkeiten in Oberflächen
2. Stand der Technik

Die Dokumente aus dem Internationalen Recherchenbericht zeigen Verfahren und Vorrichtungen zum Vermessen periodischer Oberflächenstrukturen durch Auswertung des Beugungsbildes. Als nächster Stand der Technik für die Ansprüche 1 und 7 können die Dokumente D1 und D2 angesehen werden, die in 3.1-3.3 diskutiert werden. D1 und D2 beschäftigen sich mit der Untersuchung von technischen Werkstückoberflächen durch Auswertung des Beugungsbildes. Dabei sollen periodische Oberflächenstrukturen erkannt werden; nur so entsteht ein strukturiertes Beugungsbild (D1: Sp. 3, Z. 5-25 und Fig. 9-12; D2: Fig. 1B). Zwar wird in D1 und D2 nicht explizit der Begriff "Welligkeit" verwendet, sondern nur von Oberflächencharakteristik etc. oder von "Rauhigkeit (roughness)" gesprochen, da es jedoch keine genaue Abgrenzung zwischen Rauhigkeit und Welligkeit gibt (Welligkeit hat lediglich größere Ortswellenlängen als Rauhigkeit), dient der Begriff "Welligkeit" im Anspruch 1 nicht zur Abgrenzung gegenüber Rauhigkeitsmeßverfahren. Daher sind D1 und D2 als relevanter Stand der Technik für die vorliegende Anmeldung heranzuziehen. Unabhängig davon wäre eine völlig analoge Übertragung einer Meßtechnik von kürzeren Ortswellenlängen (Rauhigkeit) auf längere (Welligkeit) nicht als erforderlich anzusehen.

**3. Neuheit (Artikel 33(2) PCT)**

**3.1 Der Gegenstand des Anspruchs 1 ist aus den Dokumenten D1 und D2 bekannt:**

D1 beschreibt ein Verfahren (zur verwendeten Vorrichtung s. z.B. Fig. 1), bei dem die Werkstückoberfläche 11 mit einem monochromatischen, kohärenten Primärlichtstrahl (von Infrarot-Laser 5, Sp. 3, Z. 41-42) beleuchtet wird und das von der Oberfläche zurückgeworfene Sekundärlicht untersucht wird. Der Primärlichteinfall geschieht dabei sicherlich unter einem "großen Einfallswinkel" (das ist nur ein unpräziser Begriff; der Bereich 75-85° (Anspruch 2) oder exakt 80° (Sp. 4, Z. 39 80°) sind sicher als "großer Einfallswinkel" aufzufassen). Weiterhin ist der Primärlichtstrahl auch "annähernd quer" zu den erwartenden periodischen Welligkeiten angeordnet, sonst würde kein strukturiertes Beugungsbild entstehen, wie es aber in Fig. 9-12 gezeigt ist.

Die in Fig. 9-12 gezeigten Beugungsbilder weisen deutlich erkennbare Spitzen ("Peaks") auf, die sich von einem nahezu unstrukturierten Untergrund abheben. Dies bedeutet, daß die Spitzen ausgeprägte periodische Strukturen ("Welligkeiten") wiedergeben, während der deutlich niedrigere Untergrund stochastischen Strukturen zuzuordnen ist. Da in D1 die Spitzen ausgewertet werden (es werden die Höhenverhältnisse der Intensitätsmaxima ermittelt; Sp. 5, Z. 30-38) und der Untergrund nicht von Interesse ist, kann man durchaus von einer isolierten Ermittlung der Welligkeit und von einem allein die Welligkeiten repräsentierenden Beugungsbild sprechen. D1 erwähnt außerdem, daß es auf der Probenoberfläche eine dominierende Oberflächenstruktur gibt, die durch das Schnittwerkzeug verursacht wird (Sp. 3, Z. 22-24). Dies bedeutet dann aber, daß diese dominierende, durch das Werkzeug verursachte Struktur feinere Strukturen abschattet (sonst wäre sie ja nicht dominierend). Schließlich wird der Einfallswinkel in D1 innerhalb einer Messung konstant gehalten und die in D1 genannten Wertebereiche nehmen den im Anspruch definierten Wertebereich von "etwa" (wiederum eine unpräzise Angabe) 81-85° zweifellos vorweg: 80° ist sicherlich "etwa 81-85°".

Somit offenbart D1 den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1 und das Verfahren aus Anspruch 1 ist nicht neu.

In D2 (s. Fig. 3) wird ebenfalls ein Laser 22 (Sp. 5, Z. 48-49) z.B. streifend ("tangential", Sp. 4, Z. 28-30) auf die Werkstückoberfläche 16 gerichtet, das Beugungsbild wird aufgezeichnet und die darin enthaltene Intensitätsverteilung wird ausgewertet, wie in Sp. 8, Z. 38-Sp. 9, Z. 49 beschrieben. Auch wenn D2 keine Einfallswinkel angibt, so grenzt die unpräzise Angabe "etwa 81-85°" den Gegenstand des Anspruchs 1 sicher nicht klar vom Verfahren aus D2 ab. Die unpräzise Definition "annähernd" quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten eignet sich ebenfalls nicht zur Abgrenzung von D2.

Auch wenn in den Beispielen in D2 nur Beugungsbilder von Oberflächen unterschiedlicher Rauigkeit gezeigt werden, so beschreibt D2 dennoch die Anwendung des Verfahrens zur Messung spezifischer Merkmale, die an der Oberfläche durch die Bearbeitung (z.B. durch Honen) entstanden sind (Sp. 8, Z. 1-6). Dies bedeutet aber dann, daß Oberflächen mit charakteristischen periodischen Bearbeitungsspuren, wie sie z.B. beim Honen entstehen, untersucht werden. Strahlt man dann das Primärlicht wie in D2 gezeigt (Fig. 3) unter einem sehr flachen Winkel ein, so entstehen an Oberflächen mit charakteristischen periodischen Welligkeiten zwangsläufig die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmale.

### 3.2 Der Gegenstand des Anspruchs 2 ist ebenfalls aus D2 bekannt:

In D2 wird eine Mattscheibe 62 verwendet (Sp. 6, Z. 33), an der die Intensitätsmaximaverteilung im Beugungsbild visuell ausgewertet wird. Diese "visuelle Auswertung hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima" geschieht im einfachsten Fall durch einfaches Betrachten der Mattscheibe und Erkennen von Strukturen. Eine solche einfache Auswertung ist aber in D2 offenbart, denn welchen anderen Zweck hätte sonst die Mattscheibe 62?

### 3.3 Der Gegenstand des Anspruchs 3 ist aus den Dokumenten D1 und D2 bekannt:

In D1 wird der Detektor zur vollen Aufnahme des Beugungsbildes rotiert (Sp. 4, Z. 38-40). In der Auswertung werden dann die Verhältnisse bestimmter Intensitätsmaxima zueinander herangezogen (Sp. 5, Z. 34-37). In D2 wird eine Kamera 40 zur Aufnahme des gesamten Beugungsbildes verwendet, deren Bild

auf einem Display dargestellt wird (Sp. 8, Z. 60-65). Auch hier erfolgt sicherlich eine einfache Auswertung beim Betrachten des Bildschirmes.

4. Erfinderische Tätigkeit (Artikel 33(3) PCT)

4.1 Der Gegenstand des Anspruchs 5 beruht nicht auf erforderlicher Tätigkeit:

Die Anmeldung sowie die Dokumente D1 und D2 sind auf das Vermessen von durch die Oberflächenbearbeitung mit Werkzeugen entstandenen periodischen Strukturen auf Werkstoffoberflächen gerichtet (D1: Sp. 3, Z. 5-25; D2: Sp. 8, Z. 5-6). Die Periodenlänge dieser Strukturen ist daher zweifelsfrei für den Fachmann von großem Interesse. Ein mit den Grundlagen der Optik vertrauter Fachmann weiß aber sicherlich auch, daß die Periodenlänge dieser Strukturen auf einfache Weise aus dem Beugungsbild zu ermitteln ist: Dieser Zusammenhang ist einem Fachmann aus einschlägigen Lehrbüchern bekannt (z.B. wird das Dokument D3 beigelegt) und auch die explizite Anwendung an Oberflächengittern zur Bestimmung der Gitterkonstante (als Beispiel wird das Dokument D4 beigelegt) ist weithin bekannt. Ein Fachmann würde daher, vor das Problem gestellt, die Ortswellenlänge der periodischen Struktur zu bestimmen, sicherlich das Beugungsbild zur Bestimmung benutzen, zumal dies in D1 und D2 ja schon zur Auswertung vorliegt. Daß dabei nicht die absolute Lage der Linien, sondern der Abstand benachbarter Linien herangezogen werden kann, ist ein marginaler Punkt, der auch aus D4 offensichtlich wird: Statt die Lage der ersten Ordnung zu vermessen, kann auch der "Nachbarabstand" gemessen werden (beide Werte sind gleich). Eine erforderliche Tätigkeit wird daher nicht gesehen.

4.2 Auch der Gegenstand des Anspruchs 7 beruht nicht auf erforderlicher Tätigkeit:

Wie bereits in 3.1 diskutiert, offenbaren die Dokumente D1 und D2 eine Anordnung zum Erkennen von periodischen Oberflächenstrukturen mit einer Laserquelle (monochromatisches, kohärentes Licht) und einer Sekundärlicht-Anzeige. Die Anordnungen aus D1 und D2 sind auch sicherlich "definiert auf der Werkstoffoberfläche aufsetzbar" und "zumindest annähernd quer zu den etwaigen zu erwartenden periodischen Welligkeiten ausrichtbar": Diese Merkmale schaffen keine klare Abgrenzung zum Stand der Technik, da sie durch Positionierung des

(nicht zur Apparatur gehörigen) Werkstücks bei jeder Apparatur erreicht werden können (s. auch VIII/3.1). Außerdem ist in D1 ein Ausführungsbeispiel (Fig. 15) gezeigt, bei dem dieses "definierte Aufsetzen" tatsächlich ausgeführt ist.

Zweifellos wird in D1 das Beugungsbild in D1 ohne Abbildungsoptik eingefangen und dessen Intensitätsmaximaverteilung ausgewertet. Im Dokument D2 ist zwar ein Spiegel 28 erkennbar, ein solcher ist aber auch im Ausführungsbeispiel der Anmeldung vorhanden, so daß dieser wohl nicht als Abbildungsoptik aufzufassen ist.

Der Gegenstand des Anspruchs 7 unterscheidet sich hiervon lediglich dadurch, daß der Einfallswinkel im Bereich von 81-85° liegt. Es scheint, daß dieser Bereich durch routinemäßige Optimierung der Apparatur gefunden wurde. Aus D1 ist z.B. 75-85° bekannt und die Anmeldung selbst konstatiert, daß die Apparatur durchaus von 75-88° (S. 8, viertletzte Zeile) betrieben werden kann.

Überraschende technische Wirkungen im Bereich 81-85° werden in der Anmeldung nicht benannt und sind auch nicht ersichtlich. Die Auswahl des Winkelbereichs wird daher als eine routinemäßige und für den Fachmann naheliegende Parameterauswahl angesehen, die keine erfinderische Tätigkeit begründet (s. PCT-Richtlinien, Kap. IV, C1, (ii)).

**4.3 Der Gegenstand der Ansprüche 10-13 beruht ebenfalls nicht auf erfinderischer Tätigkeit:**

D2 offenbart zum Erfassen des Beugungsbildes eine Mattscheibe 62 (Sp. 6, Z. 33) sowie eine als Matrix ausgebildete Digital-Kamera 40 (Sp. 6, Z. 7-14), wobei der Mattscheibe und der Kamera der Sekundärstrahlengang über den Klappspiegel 28 (Sp. 5, Z. 55-57) zugänglich ist. Somit sind alle spezifischen Merkmale der Ansprüche 10-13 aus D2 bekannt und sie liefern keinen Beitrag zu erfinderischer Tätigkeit.

**5. Neuheit und erfinderische Tätigkeit / Ansprüche 4, 6, 8 und 9 (Artikel 33(2) und 33(3) PCT):**

Anspruch 4: Das Verfahren nach Anspruch 4 unterscheidet sich von den Verfahren aus D1 und D2 dadurch, daß die Intensitätsverteilung des

Sekundärlichtes einer Autokorrelation unterworfen wird und die daraus gewonnene Autokorrelationsfunktion ausgewertet wird. Der Gegenstand des Anspruchs 4 ist daher neu. Ausgehend von D1 oder D2 besteht auch keine Veranlassung für den Fachmann, diese Auswertetechnik anzuwenden. Sie wird weder in den übrigen Dokumenten des Recherchenberichts noch in D3 oder D4 nahegelegt. Der Gegenstand des Anspruchs 4 beruht daher auch auf erfinderischer Tätigkeit.

Anspruch 6: Das Verfahren nach Anspruch 6 unterscheidet sich von den Verfahren nach D1 und D2 dadurch, daß die Tiefe der Wellentäler aus der Intensität benachbarter Intensitätsmaxima und der Periodenlänge der Welligkeit ermittelt wird. Der Gegenstand des Anspruchs 6 ist daher neu. Zwar ist die Ermittlung der Tiefe von Strukturen durch Auswerten des Beugungsbilds aus dem Stand der Technik bekannt, das spezifische Verfahren nach Anspruch 6 wird aber weder beschrieben noch nahegelegt.

Ansprüche 8 und 9: Die im Anspruch 8 definierte kompakte Ausführung des Geräts wird im verfügbaren Stand der Technik weder beschrieben noch nahegelegt. Der Gegenstand des Anspruchs 8 (und des darauf rückbezogenen Anspruchs 9) ist daher neu und auf erfinderischer Tätigkeit beruhend.

6. Gewerbliche Anwendbarkeit (Artikel 33(4) PCT)

Der Gegenstand der Ansprüche 1-13 ist zweifellos gewerblich anwendbar, z.B. für die Überwachung der Oberflächenqualität von Kraftfahrzeugteilen.

**Zu Punkt VII**

**Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung**

1. In der Beschreibung auf S. 4 wird erwähnt, daß das Verfahren und die Vorrichtung aus D1 bis zu einem Winkel von maximal 80° betrieben wird. Es ist jedoch so, daß der Einfallswinkel im Bereich 75-85° (s. dortiger Anspruch 2) liegt und in einem Ausführungsbeispiel bei 80° liegt (nicht maximal).

2. Die in Verbindung miteinander aus dem Stand der Technik bekannten Merkmale (Dokument D1 oder D2) sind derzeit nicht im Oberbegriff eines unabhängigen Anspruchs aufgeführt (Regel 6.3 b) PCT).

**Zu Punkt VIII**

**B stimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung (Artikel 6 PCT)**

1. Im Anspruch 1 wird der Begriff "Primärlichtstrahl" in Bindestrichen hinter "Lichtstrahl" eingeschoben. Es ist wohl der Begriff "Primärlichtstrahl (7)" gemeint. Im gleichen Anspruch wird definiert, daß die Welligkeiten an deren lichtzu- und lichtabgewandten Seitenflanken ausgeleuchtet werden. Es ist unverständlich, wie ein Objekt an der lichtabgewandten Seitenflanke beleuchtet werden kann. Wenn diese beleuchtet wird, dann ist sie gerade nicht "lichtabgewandt".
2. Im Anspruch 6 wird definiert, daß aus den Intensitäten benachbarter Maxima und aus der Periodenlänge auf die Tiefe der Strukturen geschlossen wird. Zwar zeigt die Beschreibung ein einzelnes Ausführungsbeispiel einer solchen Tiefenbestimmung, es gibt aber erhebliche Zweifel, daß ein Fachmann außerhalb dieses speziellen Ausführungsbeispiels die Tiefe wirklich bestimmen kann. Der Anspruch 6 ist daher in seiner Breite nicht ausreichend durch die Beschreibung gestützt (s. PCT-Richtlinien, Kap. III, 6.3).
3. Der Anspruch 7 enthält folgende Unklarheiten:
  - 3.1 Im Anspruch wird versucht, die Vorrichtung über deren Bezug zur Probe (die ja nicht zur Vorrichtung gehört) anstatt über die technischen Mittel der Vorrichtung zu definieren: So soll die Vorrichtung "definiert auf der Werkstoffoberfläche aufsetzbar" sein und bei "ordnungsgemäßem Aufsetzen" eine bestimmte Orientierung zur Probe haben. Dieses definierte "Aufsetzen" ist aber immer möglich, ein Unterschied zum Stand der Technik ist daraus nicht ableitbar. Weiterhin ist "ordnungsgemäß" eher ein juristischer Begriff, aber kein technisches Merkmal, daß eine Vorrichtung definiert.

- 3.2 Die Begriffe "(zumindest) annähernd streifend/quer" sind relativ und verschwommen und nicht geeignet, einen klaren Unterschied zum Stand der Technik zu definieren.
- 3.3 Der Anspruch ist auf eine Vorrichtung gerichtet, definiert diese aber in der Formulierung "fängt...als Beugungsbild ein" durch funktionale Merkmale.
- 3.4 Es ist unklar, ob die Vorrichtung Mittel zur Auswertung des Beugungsbildes enthält oder ob nur "das Beugungsbild auswertbar ist" (jedes Beugungsbild ist auswertbar).

DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

FTP/P -PÖ  
29.08.2000

Vermessen kleiner, periodischer Welligkeiten in Oberflächen

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren und einer Anordnung zum Erkennen und Vermessen periodischer, kleiner Welligkeiten in technischen Oberflächen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 (Verfahren) bzw. nach dem Oberbegriff von Anspruch 7 (Anordnung), wie sie beispielsweise aus der US-PS 3 850 526 als bekannt hervorgehen.

Nachdem die Anmelderin auf feinbearbeiteten Werkstückoberflächen unbeabsichtigte Welligkeiten der hier interessierenden Art mit einer Periodenlänge bis zu etwa 1,5 mm beobachten konnte und nicht auszuschließen ist, daß es noch größere Periodenlängen bei Welligkeiten der hier in Rede stehenden Art gibt, seien hier unter "kleinen Welligkeiten" solche mit einem gegenseitigen Abstand der Welligkeitsspitzen unterhalb von zwei Millimetern verstanden, wobei in den meisten Fällen die Periodenlänge deutlich unter einem Millimeter liegen wird.

Für eine sichere Dichtfunktion an Wellen-Durchtrittstellen durch Gehäusewandungen sind außer dem mit einer ringförmigen Radialdichtlippe versehenen Dichtring auch die Eigenschaften der wellenseitigen Gegenlauffläche mit zu berücksichtigen. Zur Herstellung glatter Oberfläche an derartigen Wellenzapfen können diese am Umfang geschliffen, feingedreht, glattgewalzt, rolliert oder außengerieben werden. Der Konstrukteur schreibt für den Wellenzapfen außer bestimmten Rauheitswerten auch noch Drallfreiheit der Oberfläche vor. Drallfrei beispielsweise von geschliffenen Oberflächen bedeutet, daß die Schleifstruktur exakt in Umfangsrichtung liegt und überlagerte regelmäßige Wellenan-

teile fehlen. Es ist jedoch in der heutigen Serienfertigung nicht nur problematisch, technische Oberflächen reproduziert sich drallfrei herzustellen, sondern es bereitet darüber hinaus Schwierigkeiten, eine solche Drallfreiheit sicher zu erkennen und gegebenenfalls eine Drallstruktur zu quantifizieren.

Die auf die Anmelderin zurückgehende DE 197 40 141 A1 beschreibt eine mechanisch arbeitende Tastschnittmethode zur Ermittlung und Quantifizierung von hier interessierenden Drallstrukturen oder Welligkeiten, die zu zuverlässigen und quantitativ umfassenden Aussagen bezüglich praktisch aller relevanten Parameter der Drallstruktur führt. Das bekannte Tastschnittverfahren führt insbesondere auch dann, wenn die Welligkeit nur gering ausgeprägt und/oder mit einem starken stochastischen Rauigkeitsanteil überlagert ist, zu brauchbaren Ergebnissen, wenn man den stochastischen Rauheitsanteil aufgrund einer Autokorrelation der Oberflächendaten weitgehend eliminiert hat. Allerdings erfordert das bekannte Verfahren zur Generierung der Oberflächendaten einen hohen Zeitaufwand und muß mit großer Sorgfalt durchgeführt werden. Mit diesem Verfahren kann man daher nicht unmittelbar die Fertigung von technischen Oberflächen überwachen. Hingegen kann dieses Verfahren zur Kontrolle anderer Drallermittlungsverfahren als Referenzmethode eingesetzt werden.

In einer älteren Anmeldung der Anmelderin gemäß der nachveröffentlichten DE 198 09 790 A1 ist ein berührungs frei optisch arbeitendes Verfahren beschrieben, bei dem die Rohdaten der zu untersuchenden Oberfläche aus einer unmittelbaren, vergrößerten Abbildung eines kleinen Ausschnittes der Oberfläche gewonnen werden. Das Verfahren arbeitet mit beliebigem Licht als Primärlichtart. Die damit beleuchtete Oberfläche wird unter Verwendung einer Abbildungsoptik scharf auf einer Mattscheibe oder auf einem Photodiodenarray hoher Auflösung abgebildet. Bei diesem Verfahren sind grobe und stark geneigte Drallstrukturen ohne weitere Ver-

arbeitung der Bilddaten direkt aus dem visuellen Bildeindruck erkennbar. Derartige stark ausgeprägte Drallstrukturen sind jedoch dem geübten Auge auch so, d.h. lediglich bei geeigneter Beleuchtung und unter Zuhilfenahme einer Lupe, erkennbar. Derartige, grobe Fälle treten in der Praxis im übrigen selten auf und bereiten bezüglich ihrer Erkennbarkeit keine Probleme. Bei geringer ausgeprägten und/oder wenig geneigten Drallstrukturen müssen jedoch nach dem genannten Verfahren Bilddatensätze von mehreren benachbarten Oberflächenpartien generiert und diese lagerichtig zu einem einheitlichen Bilddatensatz vereinigt werden, wobei jeder einzelne Bilddatensatz zuvor jeweils einer Radontransformation unterworfen wird.

Zwar arbeitet das erwähnte Drallermittlungsverfahren gemäß der nachveröffentlichten DE 198 09 790 A1 schneller als die Tastschnittmethode, jedoch erfordert es in sofern ebenfalls eine gewisse Sorgfalt, als zum einen die Referenzlage des Werkstückes zur Meßeinrichtung genau bekannt sein muß und als zum anderen Meßgerät und Werkstück während der Messung absolut ruhig zueinander gehaltert werden müssen. In der bekannten Relativlage von Werkstückachse und Meßeinrichtung müssen mehrere Aufnahmen in dichter Folge gemacht werden, was ebenfalls zeitaufwendig ist und Sorgfalt erfordert. Darüber hinaus erfordert auch die Auswertung in sofern eine gewisse Sorgfalt und Überwachung, als die einzelnen Bilder hinsichtlich einer einheitlichen mittleren Grauwertvereinigung einander angepaßt werden müssen. Das bekannte Verfahren liefert zwar Aussagen über den Abstand der Wellen und deren Neigung gegenüber einer Referenzrichtung. Aussagen über die Tiefe der Welligkeiten oder deren Querschnitt können mit dieser Methode jedoch nicht unmittelbar und nur mit Einschränkungen gewonnen werden. Mit dem bekannten Verfahren läßt sich im Labor an in begrenzter Zahl bereitgestellten Werkstücken das Vorhandensein oder Fehlen eines Oberflächendralls nachweisen, jedoch ist das Verfahren für einen Einsatz in der Fertigung weniger geeignet.

Die eingangs erwähnte US-PS 3 850 526 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optischen Detektion periodischer Welligkeiten in fein bearbeiteten Werkstückoberflächen, bei dem diese mit einem Strahl von monochromatischem, kohärentem Licht - Primärlicht - beleuchtet und ein Beugungsbild der periodischen Welligkeiten in dem von der Oberfläche zurückgeworfenen Sekundärlicht erzeugt wird. Dabei wird das Primärlicht unter einem großen Einfallwinkel zur Oberflächennormalen der Werkstückoberfläche und annähernd quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten auf die Werkstückoberfläche gerichtet und die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes ausgewertet. Von den beteiligten Strahlen, nämlich dem einfallenden Primärlichtstrahl und dem ausfallenden Sekundärstrahl, wird dort der eine unter einem feststehenden Winkel von maximal  $80^\circ$  zur Oberflächennormalen gehalten, wogegen der Strahl- oder Auswertekanal des jeweils anderen Strahls um einen relativ großen Winkelbereich um die Lage des gespiegelten Strahles herum beweglich ist. Mittels einer schwenkbaren Strahlanordnung werden die stärksten Beugungsordnungen vollständig erfaßt und in ihrem Intensitätsverlauf gemessen. Durch Vergleich der an einem Werkstück gemessenen Intensitätsverteilung des Beugungslichtes mit an verschiedenen Rauigkeits-Standards zuvor gewonnenen Intensitätsverteilungen kann die Oberflächenrauhigkeit des zu untersuchenden Werkstückes angegeben werden. Die bekannte Art der Oberflächenprüfung ist jedoch nicht auf geschliffene Oberflächen übertragbar, bei der zwei unterschiedlich feine Formstrukturen einander überlagert sind, von denen jedoch nur die eine interessiert. Das Beugungsbild der periodischen Welligkeiten wäre vom Speckle-Rauschen der stochastischen Schleifstrukturen bis zur Unkenntlichkeit überlagert und dadurch in keiner Weise aussagekräftig.

Die US-PS 5 189 490 zeigt eine normale Rauigkeitsmessung nach der Streulichtmethode, bei der ein Primärlichtstrahl an der zu untersuchenden Oberfläche reflektiert und der reflektierte Sekundärstrahl dabei in einer für die Rauig-

keitsstruktur der Oberfläche charakteristischen Weise ge-streut wird. Es findet bei dieser prinzipiell und in unterschiedlichen Ausgestaltungen und/oder Anwendungen weit verbreiteten Streulichtmethode keine Beugung an einer periodischen Beugungsstruktur und keine Ausrichtung des Primärlichtes quer zur Orientierung paralleler Bearbeitungsspuren statt. Das aus der zitierten Druckschrift bekannte Verfahren liefert erst nach einem Vergleich des am Probanden gewonnenen Ist-Musters der Streulichtkeule mit einer Vielzahl abgespeicherter, zuvor an bekannten Mustern erzeugter Referenzmuster mittelbar eine qualitative und quantitative Aussage über die zu untersuchenden Oberfläche.

Die US-PS 3 782 827 zeigt ein ganz ähnliches, nach der Streulichtmethode arbeitendes Vergleichsverfahren zur Ermittlung der Rauhigkeitsstruktur von technischen Oberflächen. Dieses Meßverfahren liefert lediglich ein gewisses Ist-Muster einer Streulichtverteilung des jeweiligen Probanden. Durch Ähnlichkeitsvergleich anhand einer Vielzahl abgespeicherter Referenzmustern kann nur mittelbar eine Aussage getroffen werden, ob oder ob nicht der untersuchte Proband eine ähnliche Oberflächentopographie hat, wie eine bekannte Probe.

Aufgabe der Erfindung ist es, das gattungsgemäß zugrundegelegte Verfahren bzw. eine entsprechende Anordnung in Richtung Fabrikationstauglichkeit so zu verbessern, daß eine Messung rasch, freihändig und mit reproduzierbarer Aussagekraft durchgeführt werden kann. Insbesondere soll eine exakte relative Ausrichtung von Werkstück und Gerät für das Meßergebnis nicht mehr erforderlich sein; trotzdem soll aber selbst bei einer relativ unruhigen Handhalterung sowohl des Werkstücks als auch des Gerätes eine hinreichende Stabilität des Meßbildes gewährleistet sein. Dabei soll eine einzige Messung nicht nur zu einer zuverlässigen qualitativen Aussage führen, ob eine periodische Oberflächenwelligkeit "vorhanden" oder "nicht vorhanden" ist, sondern es sollen gegebenenfalls - bei entsprechender Bilddatenaus-

wertung - auch quantitative Aussagen über die Periodenlänge und die Tiefe der Welligkeit möglich sein.

Diese Aufgabe wird bei Zugrundelegung des gattungsgemäßen Verfahrens erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 und bezüglich der entsprechenden Anordnung durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 7 gelöst.

Erfindungsgemäß wird mittels monochromatischem, kohärentem Licht, welches die Wellenkämme der Oberfläche quer zu ihrer Längserstreckung bei großem Einfallswinkel - annähernd streifender Einfall - trifft, unter Ausnutzung der Beugung an der wellenförmigen Oberflächenstruktur als Beugungsgitter ein Beugungsbild erzeugt und die Intensitätsverteilung in demselben ausgewertet. Durch den großen Einfallwinkel des Lichtes wird der Einfluß des Streulichtes der stochastischen Schleifstruktur im Beugungsbild weitgehend eliminiert. Das Beugungsbild steht ungeachtet einer mehr oder weniger guten Ruhighaltung der Meßeinrichtung relativ zum

(Fortsetzung der Beschreibung wie auf Seite 5 oben in den Ursprungsunterlagen)

29 3247/00/1  
DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

FTP/P -PÖ  
29.08.2000

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten in technischen Oberflächen, bei dem die Oberfläche mit einem Strahl von monochromatischem, kohärentem Licht - Primärlicht - beleuchtet und ein Beugungsbild der periodischen Welligkeiten in dem von der Oberfläche zurückgeworfenen Sekundärlicht erzeugt wird, wobei das Primärlicht unter einem großen Einfallwinkel zur Oberflächennormalen der Werkstückoberfläche und annähernd quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten auf die Werkstückoberfläche gerichtet wird, und wobei die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes ausgewertet wird,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß  
zur isolierten Ermittlung der Welligkeit (26) von geschliffenen Oberflächen, bei denen die Welligkeit (26) von feinen, steil eingekerbten, stochastischen Schleifstrukturen (24) überlagert sind, durch annähernd streifendes Einstrahlen des Primärlichtes unter einem konstanten Einfallwinkel innerhalb des Winkelbereiches von etwa  $83\pm2^\circ$  auf die Werkstückoberfläche die Schleifstrukturen (24) abgeschattet (Abschattungen 25) werden und daß aufgrund einer dadurch bewirkten isolierten Ausleuchtung der Welligkeiten (26) mit Primärlicht an deren lichtzu- und lichtabgewandten Seitenflanken und an deren Wellenkämmen (27) ein allein die Welligkeiten (26) repräsentierendes Beugungsbild erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß

das Sekundärlicht (8) auf einer Mattscheibe (10) eingefangen und deren Intensitätsverteilung visuell hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ausgewertet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

durch gekennzeichnet, daß die Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes (8) über die Bildfläche des Beugungsbildes hinweg ortsabhängig gemessen und die Meßwerte hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ausgewertet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

durch gekennzeichnet, daß die Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes (8) einer Autokorrelation unterworfen und die daraus gewonnene Autokorrelationsfunktion ausgewertet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

durch gekennzeichnet, daß der (a) Abstand benachbarter Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ermittelt und daraus auf die Periodenlänge (L) der Welligkeit (26) geschlossen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

durch gekennzeichnet, daß die Intensitätswerte ( $i_1$ ,  $i_2$ ) benachbarter Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ermittelt und daraus sowie aus der Periodenlänge (L) der Welligkeit (26) auf die Tiefe (T) der Wellentäler zwischen den Wellenkämmen (27) geschlossen wird.

7. Anordnung zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten in der Oberfläche eines Werkstücks, umfassend eine auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche definiert aufsetzbare Meßvorrichtung, mit einer einen Primärlichtstrahl monochromatischen, kohärenten Lichtes unter einer bestimmten Richtung auf die Werkstückoberfläche richtenden Primärlichtquelle und einer die von der Werkstückoberfläche zu-

rückgeworfene Streulichtkeule einfangenden Sekundärlicht-Anzeige in der Meßvorrichtung, insbesondere zum Ausüben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch die Gemeinsamkeit folgender Merkmale der Meßvorrichtung:

- zumindest im Bereich des Austritts des Primärlichtstrahls (7) aus der Meßvorrichtung (1) ist dieser so gerichtet (16), daß er bei ordnungsgemäßem Aufsetzen der Meßvorrichtung (1) auf das Werkstück (11) unter einem bestimmten Winkel im Bereich von  $83\pm2^\circ$  auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche (12) auftrifft,
- die Meßvorrichtung (1) ist so ausgebildet, daß sie nach dem Aufsetzen auf die Werkstückoberfläche (12) bezüglich des Primärstrahls (7) zumindest annähernd quer zu etwaigen zu erwartenden periodischen Welligkeiten (26) der Werkstückoberfläche (12) ausrichtbar ist,
- die Sekundärlicht-Anzeige fängt die Streulichtkeule unmittelbar, d.h. ohne Abbildungsoptik, als Beugungsbild der Welligkeit (26) ein, wobei die Intensitätsverteilung im Beugungsbild auswertbar ist.

8. Anordnung nach Anspruch 7,

durch gekennzeichnet, daß das Gerät (1) im Bereich der Aufsetzfläche (2) auf die Werkstückoberfläche (12) ein Austrittsfenster umschließt in dessen seitlicher Begrenzung optische Umlenkelemente wie Spiegel (14, 15) oder Umlenkprisma für den Primärstrahl (7) und für den Sekundärstrahl (8) angeordnet sind, die diese in der Weise raumsparend abgewinkeln, daß der vor dem Primärstrahl-Umlenkelement (14) liegenden Strahlanteil des Primärstrahls und der hinter dem Sekundärstrahl-Umlenkelement (15) liegenden Strahlanteil des Sekundärstrahls zumindest angenähert quer zur Werkstückoberfläche (12) ausgerichtet ist.

9. Anordnung nach Anspruch 8,

durch gekennzeichnet, daß

die optischen Umlenkelemente (14, 15) derart angeordnet sind, daß der vor dem Primärstrahl-Umlenkelement (14) liegenden Strahlanteil des Primärstrahls (7) einerseits und der hinter dem Sekundärstrahl-Umlenkelement (15) liegenden Strahlanteil des Sekundärstrahls (8) andererseits sich gegenseitig überkreuzen.

10. Anordnung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Sekundärlicht-Anzeige als die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes visuell sichtbar machende Mattscheibe (10) ausgebildet ist.

11. Anordnung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Sekundärlicht-Anzeige als eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes messende, zeilenförmige oder flächendeckende Matrix einer Vielzahl lichtempfindlicher Sensoren ausgebildet ist.

12. Anordnung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß in der Sekundärlicht-Anzeige sowohl eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes visuell sichtbar machende Mattscheibe (10) als auch eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes messende, zeilenförmige oder flächendeckende Matrix aus einer Vielzahl lichtempfindlicher Sensoren angeordnet ist, denen der Sekundärstrahlengang über einen Strahlteiler oder über einen Klappspiegel zugänglich ist.

13. Anordnung nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, daß an die Meßvorrichtung (1) eine digital arbeitende Kamera (23) adaptiert (22) ist, mit der die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes des Sekundärstrahlenganges (8) registrierbar ist.

.00o.

29/07/25  
Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference  29524/WO/1	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No.  PCT/EP99/06591	International filing date (day/month/year)  07 September 1999 (07.09.99)	Priority date (day/month/year)  08 October 1998 (08.10.98)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC  G01B 11/30		
Applicant  DAIMLERCHRYSLER AG		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 11 sheets, including this cover sheet.

This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 10 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I  Basis of the report
- II  Priority
- III  Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV  Lack of unity of invention
- V  Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI  Certain documents cited
- VII  Certain defects in the international application
- VIII  Certain observations on the international application

Date of submission of the demand  18 February 2000 (18.02.00)	Date of completion of this report  14 December 2000 (14.12.2000)
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

**INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT**

International application No.

PCT/EP99/06591

**I. Basis of the report**

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

 the international application as originally filed. the description, pages 5-19, as originally filed,  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
pages 1-4,4A-4b, filed with the letter of 29 August 2000 (29.08.2000),  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_ the claims, Nos. \_\_\_\_\_, as originally filed,  
Nos. \_\_\_\_\_, as amended under Article 19,  
Nos. \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
Nos. 1-13, filed with the letter of 29 August 2000 (29.08.2000),  
Nos. \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_ the drawings, sheets/fig 1/5-5/5, as originally filed,  
sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_,  
sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

 the description, pages \_\_\_\_\_  
 the claims, Nos. \_\_\_\_\_  
 the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

3.  This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.  
PCT/EP 99/06591

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

## 1. Statement

Novelty (N)	Claims	4 - 13	YES
	Claims	1 - 3	NO
Inventive step (IS)	Claims	4, 6, 8, 9	YES
	Claims	5, 7, 10, 11, 12, 13	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1 - 13	YES
	Claims		NO

## 2. Citations and explanations

Reference is made to the following documents:

D1: US-A-3 850 526

D2: US-A-5 189 490

D3: D. MARCUSE: "LIGHT TRANSMISSION OPTICS",  
VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, ISBN 0 442263090,  
NEW YORK, 1982, pages 52 - 56

D4: EP-A-0 585 839.

1. Technical field: Detection of periodic undulations  
in surfaces.2. Prior art

The international search report citations show methods and devices for measuring periodic surface structures by evaluating the diffraction pattern. D1 and D2 can be considered the prior art closest to Claims 1 and 7 and are discussed in points 3.1 to 3.3. D1 and D2 are concerned with the investigation of technical workpiece surfaces by evaluation of the diffraction pattern, wherein periodic surface structures are to be detected; it is only in this way that a structured diffraction pattern is

produced (D1: column 3, lines 5 to 25; and Figures 9 to 12; D2: Figure 1B). Although the term "undulation" is not used explicitly in D1 and D2 and only the surface characteristic etc. or "roughness" is mentioned, since there is no precise differentiation between roughness and undulation (undulation simply has longer local wavelengths than roughness), the term "undulation" in Claim 1 is not used to differentiate the method from roughness-measuring methods. Therefore D1 and D2 can be considered as relevant prior art for the present application. Independently thereof, an entirely similar application of a technique for measuring shorter local wavelengths (roughness) to longer ones (undulation) cannot be considered inventive.

3. Novelty (PCT Article 33(2))

3.1 The subject matter of Claim 1 is known from D1 and D2:

D1 describes a method (see Figure 1, for example, as concerns the device used), wherein the workpiece surface (11) is illuminated by a monochromatic, coherent primary light beam (from infrared laser (5), column 3, lines 41-42) and the secondary light reflected by the surface is investigated. The primary light certainly impinges at a "large angle of incidence" (which is only a vague term; the 75 - 85° range (Claim 2) or exactly 80° (column 4, line 39, 80°) can certainly be interpreted as a "large angle of incidence"). Furthermore, the primary light beam is also "approximately transverse" to the expected periodic undulations, otherwise no structured diffraction pattern would be produced;

however, such a pattern is shown in Figures 9 to 12.

The diffraction patterns shown in Figures 9 to 12 show clearly discernible peaks which stand out from an almost unstructured background. This means that the peaks reproduce salient periodic structures ("undulations"), whilst the clearly lower background can be attributed to stochastic structures. Since the peaks are evaluated in D1 (the height ratios of the intensity maxima are determined; column 5, lines 30 to 38) and the background is of no interest, it is certainly possible to speak of the isolated determination of the undulation and of a diffraction pattern that represents the undulations alone. D1 further mentions that the sample surface has a dominant surface structure which is caused by the cutting tool (column 3, lines 22 to 24); however, this then means that this dominant structure caused by the tool overshadows finer structures (otherwise it would not be dominant). Finally, the angle of incidence in D1 is maintained constant during a measurement and the ranges of values mentioned in D1 certainly anticipate the value range, defined in the claim, of "approximately" (again an imprecise term) 81 to 85°; 80° is certainly "approximately 81 to 85°".

Thus D1 discloses the subject matter of independent Claim 1 and the method of Claim 1 is not novel.

In D2 (see Figure 3) a laser (22) (column 5, lines 48-49) is also directed grazingly ("tangentially", column 4, lines 28 to 30) onto the workpiece surface (16), the diffraction pattern is recorded and the intensity distribution present therein is evaluated,

as described from column 8, line 38, to column 9, line 49. Even if D2 does not indicate any angle of incidence, the vague term "approximately 81 to 85°" does not delimit the subject matter of Claim 1 clearly from the D2 method. The imprecise definition "approximately" transverse to the expected periodic undulations is also not suitable for differentiation from D2.

Even if the D2 examples show only diffraction patterns of surfaces of different degrees of roughness, D2 nevertheless describes the application of the method for measuring specific features produced on the surface by machining (e.g. honing) (column 8, lines 1 to 6). However, this then means that surfaces having characteristic periodic traces of machining, such as occur with honing, for example, are investigated. If the primary light is then radiated as shown in D2 (Figure 3) at a very shallow angle, the features appearing in the characterizing part of Claim 1 then inevitably occur on surfaces having characteristic periodic undulations.

3.2 The subject matter of Claim 2 is also known from D2:

In D2 a ground glass disc (62) on which the intensity maxima distribution in the diffraction pattern is evaluated visually is used (column 6, line 33). In the simplest case, this "visual evaluation of the occurrence of intensity maxima" is carried out simply by looking at the ground glass disc and discerning structures; however, a simple evaluation of this nature is disclosed in D2, since what other purpose would the ground glass disc (62)

serve?

- 3.3 The subject matter of Claim 3 is known from D1 and D2:

In D1 the detector is rotated in order to record the diffraction pattern completely (column 4, lines 38 to 40). The ratios of given intensity maxima are then used in the evaluation (column 5, lines 34 to 37). In D2 a camera (40) is used to record the entire diffraction pattern, its image being shown on a display (column 8, lines 60 to 65). Here too, evaluation is certainly carried out in a simple manner by observation of the screen.

4. Inventive step (PCT Article 33(3))

- 4.1 The subject matter of Claim 5 does not involve an inventive step:

The application and D1 and D2 are directed to the measurement of periodic structures produced on workpiece surfaces by surface machining with tools (D1: column 3, lines 5 to 25; D2: column 8, lines 5 - 6). The period length of these structures is therefore without a doubt of great interest to a person skilled in the art. However, a person skilled in the art familiar with the basic principles of optics will certainly also be aware that the period length of these structures can be determined in a simple manner from the diffraction pattern: a person skilled in the art knows this fact from the relevant text books (e.g. D3, enclosed) and the explicit use on surface gratings for determining grating constants (D4 enclosed as an example) is further

known. Therefore, faced with the problem of determining the local wavelength of the periodic structure, a person skilled in the art would certainly use the diffraction pattern for determination purposes, in particular since this already occurs in D1 and D2 for evaluation. The fact that it is not the absolute position of the lines but the spacing between adjacent lines that can be used in this connection is a minor point which is also obvious from D4: instead of measuring the position of the first order, the "neighbouring distance" can also be measured (the two values are identical). Therefore no inventive step is recognized.

- 4.2 The subject matter of Claim 7 also does not involve an inventive step.

As already discussed in 3.1, D1 and D2 disclose an arrangement for detecting periodic surface structures with a laser source (monochromatic, coherent light) and a secondary light display. The D1 and D2 arrangements also certainly "can be placed in defined manner on the workpiece surface" and "can be aligned at least approximately transversely to any periodic undulations to be expected"; these features do not delimit the subject matter clearly from the prior art since they can be achieved with any equipment by positioning the workpiece (which is not part of the equipment) (see also Box VIII, point 3.1). Furthermore, D1 shows an embodiment (Figure 15) in which this "placing in defined manner" is actually carried out. In D1 the diffraction pattern is certainly captured without an imaging lens and its intensity maxima distribution evaluated.

Although a mirror (28) is discernible in D2, there is also one in the embodiment of the application and so it cannot be interpreted as an imaging lens.

The subject matter of Claim 7 differs therefrom merely in that the angle of incidence ranges from 81 to 85°. This range appears to be found by routine optimization of the equipment. D1, for example, discloses a range of 75 to 85° and the application itself affirms that the equipment can certainly be operated at between 75 and 88° (page 8, fourth but last line). Unexpected technical effects in the 81 to 85° range are not mentioned in the application, nor are they discernible. The choice of angular range is therefore a routine and obvious selection of parameters for a person skilled in the art which does not substantiate any inventive step (see PCT Guidelines, Chapter IV-1.1 (ii)).

- 4.3 The subject matter of Claims 10 to 13 likewise does not involve an inventive step:

D2 discloses a ground glass disc (62) for detecting the diffraction pattern (column 6, line 33) and a digital camera (40) designed as a matrix (column 6, lines 7 to 14), the ground glass disc and camera of the secondary beam path being accessible via the hinged mirror (28) (column 5, lines 55 to 57). Thus all the specific features of Claims 10 to 13 are known from D2 and make no contribution to inventive activity.

5. Novelty and inventive step of Claims 4, 6, 8 and 9  
(PCT Article 33(2) and (3)):

Claim 4: The method as per Claim 4 differs from the D1 and D2 methods in that the intensity distribution of the secondary light is subjected to auto-correlation and the resultant auto-correlation function is evaluated. The subject matter of Claim 4 is therefore novel. Proceeding from D1 or D2 there was also no reason for a person skilled in the art to apply this evaluation technique. It is suggested neither in the other search report citations nor in D3 or D4. Therefore the subject matter of Claim 4 also involves an inventive step.

Claim 6: The method as per Claim 6 differs from the D1 and D2 methods in that the depth of the undulation troughs is determined from the intensity of adjacent intensity maxima and the period length of the undulation. Therefore the subject matter of Claim 6 is novel. Although determining the depth of structures by evaluating the diffraction pattern is known from the prior art, the specific method as per Claim 6 is neither described nor rendered obvious.

Claims 8 and 9: The compact configuration of the apparatus defined in Claim 8 is neither described nor suggested by the available prior art. The subject matter of Claim 8 (and of its appended Claim 9) is therefore novel and involves an inventive step.

**6. Industrial applicability (PCT Article 33(4))**

The subject matter of Claims 1 to 13 is certainly industrially applicable, for example for monitoring the surface quality of motor vehicle parts.

**VII. Certain defects in the international application**

The following defects in the form or contents of the international application have been noted:

1. Page 4 of the description mentions that the method and device of D1 are operated up to a maximum angle of 80°. However, the angle of incidence is in the range of 75 to 85° (see D1, Claim 2) and is 80° (not the maximum) in one embodiment.
2. The features known together from the prior art (D1 or D2) do not at present appear in the preamble of an independent claim (PCT Rule 6.3(b)).

**VIII. Certain observations on the international application**

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

1. In Claim 1 the term "primary light beam" is added in parentheses after "light beam". The term "primary light beam (7)" is probably meant. The same claim specifies that the undulations are illuminated at their side flanks facing and remote from the light. It is not clear how an object can be illuminated on the side flank remote from the light. If it is illuminated, it cannot be "light-remote".
2. Claim 6 specifies that conclusions about the depth of the structures can be drawn from the intensities of adjacent maxima and the period length. Although the description gives a single embodiment of depth determination of this type, there is considerable doubt as to whether a person skilled in the art can actually determine the depth other than using this special embodiment. Therefore the breadth of Claim 6 is not adequately supported by the description (see PCT Guidelines, Chapter III-6.3).
3. Claim 7 contains the following unclear points:
  - 3.1 The claim attempts to define the device by its relation to the sample (which is not part of the device) instead of using technical features of the device. The device should therefore be such that it "can be placed in defined manner on the workpiece surface" and when it is "duly placed" is oriented in a particular way relative to the sample. This defined "placing", however, is always possible and no difference from the prior art can be derived

**VIII. Certain observations on the international application**

therefrom. Furthermore "duly" is a legal term, not a technical feature that defines a device.

- 3.2 The terms "(at least) approximately grazing/transverse" are relative, nebulous and unsuitable for clearly differentiating the subject matter from the prior art.
- 3.3 The claim is directed to a device but defines it by functional features when words such as "captures ... as a diffraction pattern" are used.
- 3.4 It is unclear whether the device comprises means for evaluating the diffraction pattern or only that "the diffraction pattern can be evaluated" (any diffraction pattern can be evaluated).

Original version

DaimlerChrysler AG

Stuttgart

5      Method and device for detecting and measuring small  
periodic wave patterns in technical surfaces

The invention is based on a method and an arrangement for detecting and measuring periodic small wave patterns in technical surfaces, respectively according to the precharacterising clause of Claim 1 (method) and according to the precharacterising clause of Claim 7 (arrangement), as disclosed for example by the prior application according to DE 198 09 790 A1, which 10 was published after the priority date of the present patent. Since, on finely processed workpiece surfaces, the Applicant was able to observe unintended wave patterns of the type of interest here with a period up to about 1.5 mm, and the possibility that there may be even 15 longer periods for wave patterns of the type in question here cannot be ruled out, the term "small wave patterns" will be used here to denote those having a spacing between the wave-structure peaks smaller than two millimetres, although in most cases the periods are 20 significantly less than one millimetre.

For a reliable sealing function at points where shafts pass through housing walls, besides the sealing ring provided with an annular radial sealing lip it is also necessary to take into account the properties of the 30 opposed running surface on the shaft. To produce a smooth surface at such shaft journals, they may be circumferentially ground, finished on a lathe, burnished, rolled or externally abraded. Besides specific roughness values, the manufacturer of the shaft journal also 35 prescribes the degree to which the surface is free from torsion. Torsion-free, for example in the case of ground

surfaces, means that the ground structure lies precisely in the circumferential direction and there are no superimposed regular wave components. However, in modern mass production it is not only difficult to create 5 technical surfaces reproducibly without torsion, but problems are also encountered in reliably detecting such freedom from torsion and, where necessary, quantifying any torsional structure.

DE 197 40 141 A1, in the name of the Applicant, 10 describes a mechanically operating test-score method for detecting and quantifying torsional structures or wave patterns that are of interest here, which leads to reliable and quantitatively comprehensive information concerning virtually all relevant parameters of the 15 torsional structure. The known test-score method gives usable results, in particular even if the wave pattern is not very pronounced and/or has a strong stochastic roughness component superimposed on it, when the stochastic roughness component has been substantially 20 removed by means of an autocorrelation of the surface data. However, the known method of generating the surface data is very time-consuming and must be carried out very carefully. This method cannot therefore be used to monitor directly the manufacturing of technical surfaces. 25 Instead, this method can be used as a reference method to control other torsional determination methods.

The prior application of the Applicant mentioned in the introduction according to DE 198 09 790 A1, which was published after the priority date of the present 30 patent, describes a contactlessly, optically operating method in which the raw data of the surface to be analysed are obtained from direct, magnified imaging of a small segment of the surface. The method operates with arbitrary light as the primary-light type. The surface 35 illuminated by it is sharply focused on a matt panel or on a high-resolution photodiode array by the use of

imaging optics. In this method, coarse and strongly inclined torsional structures can be detected directly from the visual appearance of the image, without further processing of the image data. Such strongly pronounced  
5 torsional structures, however, can be detected by a trained eye anyway, i.e. merely with suitable illumination and with the aid of a lens. Such coarse cases generally occur rarely in practice and do not cause problems with regard to their detection. In the case of  
10 less pronounced and/or less inclined torsional structures, however, according to the said method it is necessary to generate image-data records of a plurality of neighbouring surface parts and combine them as a function of position to form a uniform image-data record,  
15 each individual image-data record being respectively subjected beforehand to a Radon transformation.

Although the said torsional determination method according to DE 198 09 790 A1, which was published after the priority date of the present patent, operates faster  
20 than the test-score method, it nevertheless also requires some degree of care since, on the one hand, the reference position of the workpiece with respect to the measuring instrument must be known accurately and, on the other hand, the measuring device and the workpiece must be held  
25 exactly stationary relative to each other during the measurement. In the known relative position of the workpiece axis and the measuring instrument, it is necessary to take a plurality of recordings in close succession, which is also time-consuming and requires  
30 care. Furthermore, the evaluation also requires some degree of care and supervision since the individual images must be matched to one another with a view to uniform average grey-scale distribution. The known method does provide information about the spacing of the wave  
35 patterns and their inclination with respect to a reference direction. However, information about the depth

of the wave patterns and their cross section cannot be obtained directly using this method and can only be obtained with restrictions. The known method can be used in the laboratory to detect the presence or absence of 5 surface torsion in a limited number of prepared workpieces, but the method is less suitable for use in manufacture.

It is an object of the invention for the basic method of the generic type, and a corresponding 10 arrangement, to be improved in terms of manufacturing compatibility to the extent that a measurement can be carried out quickly, conveniently and with reproducible information being obtained. In particular, the intention is for exact relative alignment of the workpiece and the 15 device to be no longer necessary for the measurement result; nevertheless, the intention is also to ensure sufficient stability of the measurement image even in the event of relatively unstable handling both of the workpiece and of the device. In this case, the intention 20 is for a single measurement to give not only reliable quantitative information, as to whether a periodic surface wave pattern is "present" or "not present", but qualitative information about the period and the depth of the wave pattern should also be possible where 25 appropriate - with corresponding image-data evaluation.

On the basis of the method of the generic type, this object is achieved according to the invention by the characterising features of Claim 1 and, with respect to the corresponding arrangement, by the characterising 30 features of Claim 7.

According to the invention, by means of monochromatic, coherent light which strikes the wave crests on the surface at right angles to their length at a large angle of incidence - approximately grazing 35 incidence - and by exploiting the diffraction by the waved surface structure as a diffraction grating, a

DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

Patent Claims

5 1. Method for detecting small periodic wave patterns in technical surfaces, in which the surface is illuminated using a light beam - primary light - and the secondary light returned by the surface is analysed, characterised in that a diffraction image of the periodic 10 wave patterns (26) in the secondary light (8) is produced by using monochromatic, coherent primary light (7) which strikes the workpiece surface (12) at approximately grazing incidence and is directed onto the workpiece surface (12) approximately at right angles to the 15 expected periodic wave patterns (26), and the intensity distribution is evaluated therefrom.

2. Method according to Claim 1, characterised in that the secondary light (8) is collected on a matt panel (10) and its intensity distribution is evaluated visually with 20 respect to the occurrence of intensity maxima ( $I_1, I_2$ ).

3. Method according to Claim 1, characterised in that the intensity distribution of the secondary light (8) is measured as a function of position over its cross-sectional area, and the measurements are evaluated with 25 respect to the occurrence of intensity maxima ( $I_1, I_2$ ).

4. Method according to Claim 3, characterised in that the intensity distribution of the secondary light (8) is subjected to an autocorrelation, and the autocorrelation function obtained therefrom is evaluated.

30 5. Method according to one of Claims 1 to 4, characterised in that the (a) spacing of neighbouring intensity maxima ( $I_1, I_2$ ) is determined, and the period (L) of the wave pattern (26) is deduced therefrom.

6. Method according to one of Claims 1 to 4, 35 characterised in that the intensity values ( $i_1, i_2$ ) of neighbouring intensity maxima ( $I_1, I_2$ ) are determined, and

the depth (T) of the wave troughs between the wave crests (27) is deduced therefrom and from the period (L) of the wave pattern (26).

7. Arrangement for detecting small periodic wave patterns in the surface of a workpiece, comprising a meter, which can be placed in a defined way on the workpiece surface to be analysed, with a primary-light source which directs a light beam onto the workpiece surface in a specific direction and a secondary-light display which collects the scattered-light cone returned by the workpiece surface in the meter, in particular for carrying out the method according to one of Claims 1 to 6, characterised by all the following features of the meter:

- 15 - the primary-light source (6) is designed to emit a monochromatic, coherent primary-light beam (7),
- at least in the region where the primary-light beam (7) emerges from the meter (1), this beam is directed (16) in such a way that, when the meter (1) is placed properly on 20 the workpiece (11), it strikes the workpiece surface (12) to be analysed at approximately grazing incidence,
- the meter (1) is designed in such a way that, after placing on the workpiece surface (12), it can be aligned with respect to the primary beam (7) at least 25 approximately at right angles to any expected periodic wave patterns (26) of the workpiece surface (12),
- the secondary-light display collects the scattered-light cone directly, i.e. without imaging optics or the like, as a diffraction image of the wave pattern (26), 30 and the intensity distribution in the diffraction image can be evaluated.

8. Arrangement according to Claim 7, characterised in that the meter (1) is designed in such a way that, when the meter (1) is placed properly on the workpiece (11), 35 the primary-light beam (7) strikes the workpiece surface (12) to be analysed at an angle of incidence, measured

from the normal (13) to the surface, of about 75-88 degrees, preferably about  $83\pm2$  degrees.

9. Arrangement according to Claim 7, characterised in that the primary beam (7) and the secondary beam (8) are 5 bent in a space-saving way by optical deviating elements such as mirrors (14, 15) or deviating prisms which are arranged at a short distance from the point of incidence of the primary beam (7) on the workpiece surface (12), and are aligned essentially at right angles to the 10 workpiece surface (12) in the beam components located respectively in front of the primary-beam deviating element (14) and behind the secondary-beam deviating element (15).

10. Arrangement according to Claim 9, characterised in 15 that the optical deviating elements (14, 15) are arranged in such a way that the beam component of the primary beam (7) located in front of the primary-beam deviating element (14), on the one hand, and the beam component of the secondary beam (8) located behind the secondary-beam 20 deviating element (15), on the other hand, cross each other.

11. Arrangement according to Claim 7, characterised in that the secondary-light display is designed as a matt panel (10) which makes the intensity distribution of the 25 diffraction image visually perceptible.

12. Arrangement according to Claim 7, characterised in that the secondary-light display is designed as a linear or two-dimensional matrix of a plurality of photoreceptive sensors which measures the intensity 30 distribution of the diffraction image.

13. Arrangement according to Claim 7, characterised in that both a matt panel (10), which makes the intensity distribution of the diffraction image visually perceptible, and a linear or two-dimensional matrix of a 35 plurality of photoreceptive sensors, which measures the intensity distribution of the diffraction image, are

arranged in the secondary-light display, and the secondary-beam path is accessible to them via a beam splitter or via a tilting mirror.

14. Arrangement according to Claim 13, characterised  
5 in that a digitally operating camera (23), which can be used to record the intensity distribution of the diffraction image of the secondary-beam path (8), is fitted (22) to the meter (1).

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000Measuring small periodic wave patterns in surfaces

The invention is based on a method and an  
5 arrangement for detecting and measuring periodic small  
wave patterns in technical surfaces, respectively  
according to the precharacterising clause of Claim 1  
(method) and according to the precharacterising clause of  
Claim 7 (arrangement), as disclosed for example by US  
10 Patent 3 850 526.

Since, on finely processed workpiece surfaces,  
the Applicant was able to observe unintended wave  
patterns of the type of interest here with a period up to  
about 1.5 mm, and the possibility that there may be even  
15 longer periods for wave patterns of the type in question  
here cannot be ruled out, the term "small wave patterns"  
will be used here to denote those having a spacing  
between the wave-structure peaks smaller than two  
millimetres, although in most cases the periods are  
20 significantly less than one millimetre.

For a reliable sealing function at points where  
shafts pass through housing walls, besides the sealing  
ring provided with an annular radial sealing lip it is  
also necessary to take into account the properties of the  
25 opposed running surface on the shaft. To produce a smooth  
surface at such shaft journals, they may be  
circumferentially ground, finished on a lathe, burnished,  
rolled or externally abraded. Besides specific roughness  
values, the manufacturer of the shaft journal also  
30 prescribes the degree to which the surface is free from  
torsion. Torsion-free, for example in the case of ground  
surfaces, means that the ground structure lies precisely

New document

DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

FTP/P PÖ  
29.08.2000

in the circumferential direction and there are no superimposed regular wave components. However, in modern mass production it is not only difficult to create technical surfaces reproducibly without torsion, but 5 problems are also encountered in reliably detecting such freedom from torsion and, where necessary, quantifying any torsional structure.

DE 197 40 141 A1, in the name of the Applicant, describes a mechanically operating test-score method for 10 detecting and quantifying torsional structures or wave patterns that are of interest here, which leads to reliable and quantitatively comprehensive information concerning virtually all relevant parameters of the torsional structure. The known test-score method gives 15 usable results, in particular even if the wave pattern is not very pronounced and/or has a strong stochastic roughness component superimposed on it, when the stochastic roughness component has been substantially removed by means of an autocorrelation of the surface 20 data. However, the known method of generating the surface data is very time-consuming and must be carried out very carefully. This method cannot therefore be used to monitor directly the manufacturing of technical surfaces. Instead, this method can be used as a reference method to 25 control other torsional determination methods.

A prior application of the Applicant according to DE 198 09 790 A1, which was published after the priority date of the present patent, describes a contactlessly, optically operating method in which the raw data of the 30 surface to be analysed are obtained from direct, magnified imaging of a small segment of the surface. The method operates with arbitrary light as the primary-light

New document

DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

FTP/P PÖ  
29.08.2000

type. The surface illuminated by it is sharply focused on a matt panel or on a high-resolution photodiode array by the use of imaging optics. In this method, coarse and strongly inclined torsional structures can be detected  
5 directly from the visual appearance of the image, without further processing of the image data. Such strongly pronounced torsional structures, however, can be detected by a trained eye anyway, i.e. merely with suitable illumination and with the aid of a lens. Such coarse  
10 cases generally occur rarely in practice and do not cause problems with regard to their detection. In the case of less pronounced and/or less inclined torsional structures, however, according to the said method it is necessary to generate image-data records of a plurality  
15 of neighbouring surface parts and combine them as a function of position to form a uniform image-data record, each individual image-data record being respectively subjected beforehand to a Radon transformation.

Although the said torsional determination method  
20 according to DE 198 09 790 A1, which was published after the priority date of the present patent, operates faster than the test-score method, it nevertheless also requires some degree of care since, on the one hand, the reference position of the workpiece with respect to the measuring  
25 instrument must be known accurately and, on the other hand, the measuring device and the workpiece must be held exactly stationary relative to each other during the measurement. In the known relative position of the workpiece axis and the measuring instrument, it is  
30 necessary to take a plurality of recordings in close succession, which is also time-consuming and requires care. Furthermore, the evaluation also requires some

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000

degree of care and supervision since the individual images must be matched to one another with a view to uniform average grey-scale distribution. The known method does provide information about the spacing of the wave 5 patterns and their inclination with respect to a reference direction. However, information about the depth of the wave patterns and their cross section cannot be obtained directly using this method and can only be obtained with restrictions. The known method can be used 10 in the laboratory to detect the presence or absence of surface torsion in a limited number of prepared workpieces, but the method is less suitable for use in manufacture.

US Patent 3 850 526, which was mentioned in the 15 introduction, discloses a method and a device for the optical detection of periodic wave patterns in finely processed workpiece surfaces, in which the latter are illuminated with a beam of monochromatic, coherent light - primary light - and a diffraction image of the periodic 20 wave patterns is produced in the secondary light returned by the surface. In this case, the primary light is directed onto the workpiece surface at a large angle of incidence with respect to the normal to the surface and approximately at right angles to the expected periodic 25 wave patterns, and the intensity distribution of the diffraction image is evaluated. Of the beams involved, that is to say the incident primary-light beam and the emerging secondary beam, one is in that case kept at a fixed angle of at most 80° with respect to the normal to 30 the surface, whereas the beam or evaluation channel of the other respective beam can be moved through a relatively large angle range around the position of the

New document

DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

FTP/P PÖ  
29.08.2000

reflected beam. By means of a tilting beam arrangement, the strongest diffraction orders are fully detected and measured in terms of its intensity profile. By comparing the intensity distribution of the diffracting light 5 measured using a workpiece with intensity distributions obtained beforehand using various roughness standards, the surface roughness of the workpiece to be analysed can be found. The known type of surface inspection is not, however, applicable to ground surfaces in which two 10 different fine shape structures are superimposed on each other, but only one of which is of interest. The diffraction image of the periodic wave patterns would have specular noise of the stochastic ground structures superimposed on it to the extent that it could not be 15 identified and therefore could not provide useful information.

US Patent 5 189 490 discloses a normal roughness measurement using the scattered-light method, in which a primary-light beam is reflected by the surface to be 20 analysed and the reflected secondary beam is in this case scattered in a way characteristic of the roughness structure of the surface. Using this scattered-light method, which is widespread in principle and in different configurations and/or applications, neither diffraction 25 by a periodic diffraction structure nor alignment of the primary light at right angles to the orientation of parallel processing tracks take place. The method disclosed by the cited document indirectly provides qualitative and quantitative useful information about the 30 surface to be analysed only after comparison of the actual pattern of the scattered-light cone, obtained from

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000

the specimen, with a large number of stored reference patterns produced beforehand using known patterns.

US Patent 3 782 827 discloses a very similar comparison method, which operates according to the 5 scattered-light method, for determining the roughness structure of technical surfaces. This measurement method only supplies a certain actual pattern of a scattered-light distribution of the respective specimen. By similarity comparison with a large number of stored 10 reference patterns, it is possible indirectly only to find useful information as to whether or not the analysed specimen has a similar surface topography to a known sample.

It is an object of the invention for the basic 15 method of the generic type, and a corresponding arrangement, to be improved in terms of manufacturing compatibility to the extent that a measurement can be carried out quickly, conveniently and with reproducible information being obtained. In particular, the intention 20 is for exact relative alignment of the workpiece and the device to be no longer necessary for the measurement result; nevertheless, the intention is also to ensure sufficient stability of the measurement image even in the event of relatively unstable handling both of the 25 workpiece and of the device. In this case, the intention is for a single measurement to give not only reliable quantitative information, as to whether a periodic surface wave pattern is "present" or "not present", but qualitative information about the period and the depth of 30 the wave pattern should also be possible where appropriate - with corresponding image-data evaluation.

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000

On the basis of the method of the generic type, this object is achieved according to the invention by the characterising features of Claim 1 and, with respect to the corresponding arrangement, by the characterising  
5 features of Claim 7.

According to the invention, by means of monochromatic, coherent light which strikes the wave crests on the surface at right angles to their length at a large angle of incidence - approximately grazing  
10 incidence - and by exploiting the diffraction by the waved surface structure as a diffraction grating, a diffraction image is produced and the intensity distribution therein is evaluated. Owing to the large angle of incidence of the light, the effect of the  
15 scattered light from the stochastic ground structure in the diffraction image is substantially eliminated. The diffraction image remains stable and stationary even if the degree to which the measuring instrument is held

20 (The description continues as at the top of page  
5 in the original documents)

diffraction image is produced and the intensity distribution therein is evaluated. Owing to the large angle of incidence of the light, the effect of the scattered light from the stochastic ground structure in 5 the diffraction image is substantially eliminated. The diffraction image remains stable and stationary even if the degree to which the measuring instrument is held stationary relative to the workpiece varies. Furthermore, the quality of the diffraction image does not depend, 10 within realistic limits, on the relative alignment of the workpiece and the measuring instrument. The presence of a torsional structure can be detected immediately from the occurrence of a local intensity maximum in the scattered-light cone. The spacings of the wave crests can 15 be deduced from the spacing of a plurality of maxima - where different diffraction orders are involved. In this case, the spacings of the intensity maxima vary approximately in inverse proportion to the wave-crest spacings, i.e. a very close succession of wave crests 20 causes widely spaced brightness maxima in the intensity distribution of the scattered-light cone, whereas the intensity maxima are closer together if the spacings of the wave crests are larger. It is even possible to deduce the depth of the wave troughs by evaluating the 25 intensities of the different diffraction orders and the period. However, it is difficult to obtain information about the angular position of the wave patterns in relation to the exact circumferential direction in the present invention.

30 Before explaining the invention further, a few comments will be made regarding the terminology. On the one hand, there are repeated references to "primary light" and "secondary light" and, on the other hand, there are references to a "diffraction image" in the 35 secondary beam. The term "primary light" used here means light which is sent onto the workpiece surface to be

analysed, that is to say incident light. The "secondary light" is not, for instance, light due to a fluorescence phenomenon, but the light which is returned, scattered, diffracted or reflected by the workpiece surface.

5 Furthermore, despite the fact that the term "diffraction image" is used, the idea should not be inferred that a method which forms an image or a device which forms an image is involved in the present case. The primary light is diffracted by the waved surface structure and an  
10 intensity distribution corresponding to the diffraction is created in the secondary beam. "Diffraction image" means the specific nature of the relevant intensity distribution of this diffraction. A pictorial representation of the "diffraction image" for evaluating  
15 this intensity distribution, e.g. by using lenses or the like which form images, is not only unnecessary but would be incorrect. The direct collection of the "diffraction image" on a matt panel is sufficient for the visual intensity evaluation.

20 Expedient refinements of the invention can be found in the dependent claims; the invention is furthermore explained in more detail below with the aid of exemplary embodiments represented in the drawings, in which:

25 Fig. 1 shows a perspective representation of a handset for the inspection according to the invention of workpiece surfaces with respect to periodic wave patterns by visual assessment of the secondary light,

Fig. 2 shows a cross section through the lower  
30 part of the handset according to Figure 1,

Fig. 3 shows a handset according to Figure 1 which is held in a stand above a workpiece mount and has a digital camera connected via an adapter,

Fig. 4 shows a greatly enlarged and enhanced  
35 cross section through a small segment of a workpiece

surface, in which a small segment is furthermore detailed with even greater enlargement,

Fig. 5 likewise shows a greatly enlarged and greatly enhanced cross section through a segment of a  
5 different workpiece surface having two superimposed periodic wave patterns of different wavelength,

Fig. 6 shows the diffraction-image display which can be obtained when observing the workpiece surface according to Figure 5 using the handset according to  
10 Figure 1,

Fig. 7 shows, in the upper part (a) of the image, a two-dimensional brightness distribution of a diffraction image (represented in negative) and, in the lower part (b) of the image, a diagram corresponding  
15 thereto which represents the profile of the intensity along the line b-b in part (a) of the image, and

Fig. 8 shows a diagram which describes the relationship between an auxiliary variable k, determined from the intensity values  $i_1$  and  $i_2$ , the period L of the  
20 wave pattern and the wave depth T, and is used to determine the wave depth T.

Figures 1 and 2 show a handset 1 which is intended to detect small, periodic wave patterns 26 (Figure 4 or 5) in the surface 12 of a workpiece 11 and  
25 operates according to the scattered-light method. It is placed in a deliberate way on the workpiece surface 12 to be analysed. A light pencil - light wave - emitted by a primary-light source is directed onto the workpiece surface in a specific direction and the scattered-light  
30 cone returned by the workpiece surface is collected in a secondary-light display of the meter.

In order to make the handset compatible with manufacture, and to be able to detect small, periodic wave patterns quickly, conveniently and with reproducible  
35 information being obtained using it, according to the invention it is designed in the following way:

09302120-10246824

The handset 1, which is configured in an ergonomically expedient way and is provided with a lightweight plastic housing, is handy and, because of the mode of operation according to the invention, it can also 5 be guided manually and nevertheless delivers measurement images which are positionally stable. A laser diode 6 with integrated collimation optics is built into the handset as a primary-light source, and emits a monochromatic, coherent primary-light beam 7. In 10 principle, a He/Ne laser could also be used as the primary-light source, although this is not as compact as a laser diode and is not recommendable here for handsets of the proposed type on grounds of size. A power corresponding to protection class I for low-power laser 15 devices is sufficient for the present purposes. A battery compartment which can be closed by a flat-head screw 3 is integrated in the handset. The Mignon cell which it holds delivers the energy for the primary light, which can be switched on and off as required using a switch 4 arranged 20 next to a knurled ribbed surface 5 so that it can be gripped easily.

In the region where the primary-light beam 7 emerges from the handset 1, an application surface 2 for placing the device on the workpiece surface 12 to be 25 analysed is provided on the device housing. Since the intention is to carry out analysis on relatively curved as well as flat surfaces, in the exemplary embodiment which is represented the application surface is of flat configuration and is reinforced by a small steel plate 30 which encloses the exit window. In the region of this exit window, the deviating mirror 14 deflects the primary beam 7 so that it strikes the workpiece surface 12 to be analysed at approximately grazing incidence (incidence direction 16) when the meter 1 is placed properly on the 35 workpiece 11. To be precise, the primary-light beam 7 strikes the workpiece surface 12 to be analysed at a

specific, larger angle of incidence which - measured from the normal 13 to the surface - may lie in the range of about 75-88 degrees, preferably about  $83\pm 2$  degrees. Because of the flat configuration of the handset 5 application surface 2, after placing on the workpiece surface it can be aligned with respect to the primary beam 7 at least approximately at right angles to any expected periodic wave patterns 26 of the workpiece surface 12, by slight tilting of the device about the 10 height axis. In the secondary-light region - apart from a deviating mirror - no installed optical parts, that is to say no imaging or focusing optics or the like, for example, are provided in the handset. The secondary-light display directly collects the diffraction image caused by 15 the primary light on the waved structure of the workpiece surface. The intensity distribution of the diffraction image is evaluated in order to detect any periodic wave patterns in the workpiece surface.

Since the wave patterns to be picked up on 20 usually cylindrical workpiece surfaces are oriented in the circumferential direction, the axis of the incident primary beam must lie at least approximately in a plane which includes the cylinder axis. In order to make it possible to place the handset properly in the axial 25 direction (Figure 2) on relatively short and set-back component surfaces, the handset must be configured in a space-saving way in the region of the exit window. The primary beam 7 and the secondary beam 8 are therefore space-savingly bent in the handset in such a way that the 30 front primary-beam component and the rear secondary-beam component are essentially aligned at right angles to the workpiece surface 12. To that end, a small deviating mirror 14 for the primary beam and another small deviating mirror 15 for the secondary beam are 35 respectively arranged laterally at the boundary of the exit window, i.e. at a small difference from the point

where the primary beam 7 strikes the workpiece surface. In the exemplary embodiment which is represented, in order to make it possible to give the lower part of the housing, the beam shaft, a particularly short 5 configuration as viewed in the axial direction of the component 11, the deviating mirrors 14, 15 are arranged in such a way that the beam component of the primary beam 7 located in front of the primary-beam deviating member 14, on the one hand, and the beam component of the 10 secondary beam 8 located behind the secondary-beam deviating member 15, on the other hand, cross each other at a relatively small angle. This beam arrangement makes it possible not only to achieve an especially space-saving construction design in the front part of the 15 handset, but it is also thereby possible to minimise the number of beam deviations required, which besides minimal loss of luminous efficiency, not only provides cost and weight advantages but also maintenance and adjustment advantages.

20 Instead of the deviating mirrors, it is also possible to use a deviating prism. Optionally, the deviating prism could advantageously be combined to form a stable module with the said reinforcing plate for limiting the exit window.

25 In the handset 1, the secondary-light display is designed as a matt panel 10 which makes the intensity distribution of the diffraction image immediately visible, so that it can be visually assessed and even preliminarily evaluated. The intensity distribution of 30 the diffraction image, which can be seen on the matt panel, stays steady on the matt panel even if there is some degree of manual movement for the workpiece and/or for the handset. In order to shut out interfering extraneous light, the matt panel is arranged set-back at 35 the bottom of an observation shaft 9. The latter may also

be used to fit a photodetector or a digital camera to the handset.

For quantitative evaluation of the diffraction image, the intensity therein must be measured. To that end, a photodetector linear array or a photodetector matrix should be provided. Such a photodetector is not provided in the exemplary embodiment represented in Figures 1 and 2. It is, however, conceivable to provide such a photodetector instead of the matt panel 10. Suitable examples for this include CCD linear arrays or CCD matrices, spectrometer linear arrays or matrices, other photodiode linear arrays or matrices or the like. In this case, however, it would be expedient if a matt panel, on which the intensity distribution of the diffraction image can be directly collected and perceived, and a photodetector of the said type, which can be used to measure the intensity distribution of the diffraction image as a function of position, are both arranged in the secondary-light display. This being the case, the secondary-beam path may be delivered to the matt panel, on the one hand, or the photodetector, on the other hand, either simultaneously - by means of a beam splitter - or successively - by means of a tilting mirror. The intensities measured by the photodetector may be evaluated using a computer which is provided. Another possible way of evaluating and displaying the measurements is to couple the photodetector with a digital signal processor and an LCD display. The advantage of the latter variant involves compact design of the measuring instrument, including the associated data-processing system, without an additional computer unit.

Figure 3 represents yet another possible way of controlled evaluation of the secondary light, which also uses the handset. In this case, the handset 1 is held stationery by means of a holding device 21 and a stand 20

on a table 18, above an insertable prism 19 for a workpiece 11. An adapter 22, by which a digitally operating camera 23 is fitted to the handset, is placed stably in the observation shaft 9 of the handset 1 (see Figure 1). The digital camera, which carries the adapter 22 instead of its objective lens, may be lifted off or fitted on the handset as required. The matt panel needs to be removed when the digital camera is fitted on. The secondary light can then be observed in the viewfinder of the digital camera. With the recording technique of the digital camera, the intensity distribution of the diffraction image of the secondary-beam path 8 can be recorded and stored, as a data-processable record of the image data, on a special data medium which is integrated in the camera but can be removed.

The recorded image data can be forwarded in various ways from the manufacturing facility to an evaluation laboratory, from where the results, that is to say the parameter values of the wave-pattern structure of the surface can be sent back to the manufacturing facility. The image data can be sent on data medium, that is to say on special camera-data medium or - after downloading to a conventional floppy disk - on such a floppy disk as the data medium. The image data may, however, also be sent down a line to the evaluation laboratory by means of data transmission.

The procedure involved in the detection and, where appropriate, quantitative determination of the surface-wave patterns using the described device will be discussed in more detail below with reference to the surface structures according to Figures 4 and 5 which are represented in a greatly magnified and enhanced form. The macroscopic configuration of the e.g. circumferentially ground surface of the workpiece 11 (Figure 4) or 11' (Figure 5) is scarcely recognisable as a continuous surface in these detailed representations.

In this context, two topographical terms which are used here, namely "ground structure" in the sense of a superimposed stochastic fine structure, on the one hand, and periodic "torsional structure" or "wave pattern", on the other hand, will firstly be explained. Both terms relate to micro-deviations from the ideal macroscopic form of the surface, but the two microstructures differ with respect to the criteria of interest here, on the one hand by the extent or depth with which they occur on the workpiece. On the other hand, the two microstructures differ in a formal and statistical respect. The fine ground structures 24 (see Figure 4), which are generally aligned precisely in the circumferential direction, have comparatively steep side edges but their cross section substantially occurs stochastically in other regards. Conversely, the torsional structures or wave patterns 26 observed are substantially flatter on the edges and have a relatively pronounced periodic shape component. A ground structure 24, which is formed by a plurality of small, stochastic indentations and has steeper edges and substantially smaller depth dimensions than the wave pattern, is typically superimposed on a periodic wave pattern or torsional structure 26.

In the profile according to Figure 4, waves 26 are arranged regularly, that is to say periodically next to one another. Because of the greatly enhanced representation of the roughness profile, the illumination direction 16 represented as an arrow is no longer angularly correct, i.e. the flatly incident primary radiation 8 still actually reaches the bottom of the troughs and the side edges of the wave patterns away from the light. With this approximately grazing illumination, however, the steeply cut indentations of the ground or fine structure 24 are substantially shadowed (shadow zones 25), so that they can only affect the returned

light to a very small, virtually negligible extent. Conversely, the substantially flatter torsional structure 26 is substantially illuminated. Therefore, diffraction of the monochromatic and coherent primary light takes 5 place substantially more strongly on the waved torsional structure than any superimposed diffraction on the ground structure 24. The zeroth diffraction order lies in the direction 17 of the secondary beam 8, which corresponds to that of the deviated direction reflected directly by 10 the ideal macro-surface. If the surface is waved and diffraction occurs, then a further diffraction order, namely the first, can generally also be perceived at a certain spacing next to the zeroth diffraction order in the diffraction image.

15 The wavefronts which emerge from the various wave crests 27 and have stacked depths, interfere with one another and cause a diffraction image in the secondary light, only the zeroth and first diffraction orders of which can be seen as intensity maxima. If no periodic 20 wave patterns are present on the surface, then no diffraction image is formed in the secondary light. In this case, two spaced intensity maxima cannot be perceived. A "reflective diffraction grating", that is to say a series of periodic waves in the surface to be 25 analysed, can therefore reliably be deduced from the occurrence of two different intensity maxima.

Other surface structures cause other intensity distributions in the secondary light. For example, an ideally reflective surface replicates the intensity 30 distribution of the primary beam in the secondary beam as well. In such a case, only a single bright spot can be perceived in the secondary light. If there is a surface with entirely stochastic roughness and no periodic wave patterns, a uniform intensity distribution with a 35 relatively pronounced specular structure will be observed.

At this point, for the sake of completeness, it should be mentioned that the bright spots appear as ovals which are relatively distorted in the axial direction according to the strength of the curvature of the cylindrical surface 12; in the case of smaller cylinder diameters, the major axis of the oval may be larger than the corresponding internal width of the matt panel, so that the bright spot appears as a bright line.

With reference to the example of the two Figures  
10 5 and 6, the way in which the method according to the invention can also be used to deduce the period of the regular wave pattern will now be explained. The surface texture of the workpiece 11', which is represented on an enlarged scale in Figure 5, has two superimposed periodic  
15 wave patterns with very different period, namely small waves  $26_k$  with a small period  $L_k$  and large waves  $26_g$  with a large period  $L_g$ . If this surface is "observed" using the handset 1, the image shown in Figure 6 appears on its matt panel 10. Two intensity maxima can be seen, which  
20 are resolved in strips and have a relatively large mutual spacing  $a_k$ , which is attributable to the small waves  $26_k$ . The individual strips of the two intensity maxima have a relatively small spacing  $a_g$  from one another, which is associated with the wave pattern of the large waves  $26_g$ .

25 There is an approximate inverse-proportionality relationship between the spacing  $a$  of the intensity maxima within the diffraction image of the secondary light and the period  $L$  of the wave pattern: the smaller the spacing  $a$  of the bright spots is, the larger is the  
30 period  $L$  of the wave pattern, and vice versa. Using the equation  $a = f/L$ , the period  $L$  can be determined to good approximation from the spacing  $a$  of the intensity maxima. The factor  $f$  contained therein is an instrument constant, which needs to be empirically determined beforehand using  
35 known surface textures. Comparison of the measurement results according to the present invention, on the one

hand, with reference samples whose period was determined according to the elaborate test-score method, on the other hand, has shown that the correspondence is very good and e.g. in the period range of from 70 to 110  $\mu\text{m}$  a 5 maximum error of  $\pm 5 \mu\text{m}$  is to be expected.

The spacing of the intensity maxima can immediately be determined, at least to rough approximation, on the matt panel 10. For example, the matt panel may be provided with a graduated scale and the 10 spacing of the intensity maxima can be read off using it. If the graduated scale on the matt panel is movable, its zero point can be made to coincide with one of the intensity maxima, for example the brightest one, and then the spacing of the intensity maxima can be read off from 15 the graduated scale. It might also be possible to gauge the spacing of the intensity maxima using a pair of dividers and to transfer this reading onto a ruler, or to gauge it directly using the legs of callipers. However, these simple methods are only recommendable with 20 reservation, or as a preliminary method.

The handset 1 with visual evaluation of the secondary light is used for manual and retrospective inspection of finished workpieces, for example so that twisted workpieces can be rejected and sent back for 25 reprocessing. This may be done by an inspector or by the supervisor of a production line on which torsion-free journal surfaces are intended to be produced. In general, visual and qualitative identification of the wave pattern itself, or a clear indication of its absence, is 30 sufficient for the selection of torsion-free workpieces, whereas in this case it is less important to quantify the parameters of any wave pattern which is found.

As already mentioned above, the handsets may be equipped with "intelligent" photodetectors, which can 35 also perform certain measurement and computation operations automatically. Handsets equipped in this way

may output on a display at least the period L - and in the case of increased, integrated computation or evaluation power - also the depth T of any detected wave pattern. Although, without compromising their easy handleability, such handsets may also be equipped so that they can store identified parameter values if desired, such handsets are not generally conceived for storing large amounts of data.

It is also conceivable to use the wave-pattern measuring instrument according to the invention for automatic long-term monitoring of machine lines on which torsion-free journal surfaces are intended to be produced. In particular, those wave-pattern measuring instruments intended for constant use need to be equipped with an evaluation unit which measures and calculates the secondary light. Any production or error data which may be determined using a wave-pattern measuring instrument integrated in the manufacturing process should be collected, stored and evaluated in chronological order by a production-data logger or memory, in connection with other machine-operation data, inter alia such as e.g. the workpiece rotation speed, the grinding-head rotation speed, the grinding-head advance, the dressing advance, the workpiece number after the last dressing process in the case of circumferential grinding. From the large amount of data and the fact that wave patterns have or have not occurred, production experience can then be gained empirically and critical parameter pairings can be avoided. This online production monitoring using a powerful and continuous data memory may be integrated in the machine or may take place away from the immediate production line in a quieter room for production monitoring.

During the wave-pattern detection, the intensity distribution of the secondary light 8 over its cross-sectional area may be converted into a data-processable

record of the image data, for example such as the one represented in negative at the upper part (a) of the image in Figure 7. This image-data record may be evaluated with respect to the occurrence of intensity maxima  $I_1$ ,  $I_2$  in a correspondingly pre-programmed computer or in an "intelligent" photodetector integrated in the instrument, these being labelled as structural phenomena of the secondary light by the capital letters  $I_1$ ,  $I_2$ . Conversely, the intensity values in these maxima are referenced by lower-case letters  $i_1$ ,  $i_2$ . Since not all the diffraction orders are represented as clearly as in Figure 7, with two clearly recognisable intensity maxima, namely a main maximum  $I_1$  of the zeroth diffraction order and a subsidiary maximum  $I_2$  of the first diffraction order, but instead often have relatively strong specular noise superimposed on them, it is expedient firstly to subject the image data of the intensity distribution of the secondary light to an autocorrelation. In particular, less strongly pronounced torsional structures have stochastic roughnesses of approximately equal magnitude superimposed on them, so that an autocorrelation is particularly important in this case. The autocorrelation function represents a smoothing of the intensity profile in the diffraction orders, so that the maxima are readily detectable. From the values of the autocorrelation function, e.g. at the positions of the zeroth and of the first diffraction orders, it is possible to determine the intensity values  $i_1$  and  $i_2$  in these diffraction orders. Figure 7 shows the profile of such an autocorrelation function along a line b-b (see Figure 7, part a) within the two-dimensional intensity distribution in the diffraction image. The spacing  $a$  of the two maxima  $I_1$  and  $I_2$ , and the respective function value  $i_1$  and  $i_2$  of the autocorrelation function in the intensity maxima themselves, can be determined by computation - as mentioned.

As already mentioned above, the period L of the wave pattern can be calculated approximately according to a simple reciprocal relationship from the distance a which has been determined. However, the diffraction image 5 also supplies depth-relevant information about the diffracting wave-pattern structure on the workpiece surface, this being due to the fact that not only the wave crests but also the wave troughs contribute to the creation of the diffraction image. For example, different 10 diffraction images are obtained from two waved surfaces which have the same wave-pattern period as each other but a different wave-pattern depth from each other. The depth T of the wave troughs between the wave crests 27 can be deduced from the two intensity values  $i_1$  and  $i_2$  of the 15 main and subsidiary intensity  $I_1$  and  $I_2$ , while taking the period into account. This calculation method is not quite as simple as the calculation of the period. In order to be able to determine the depth T of the wave troughs, it is first necessary to calculate a normalising auxiliary 20 variable k from the intensity values  $i_1$ ,  $i_2$  by using the equation  $k = i_1 \times i_2 / (i_1^2 + i_2^2)$ . This relationship - incidentally like the approximate reciprocal relationship mentioned above for the period L of the wave pattern - is valid if certain idealising simplifications are applied, 25 although these are readily available with the instrument design recommended in the present case. The auxiliary variable k tends towards zero for extremely low intensities. The brighter the first diffraction order is, and hence the closer its intensity is to the intensity of 30 the zeroth diffraction order, the closer the auxiliary variable k will be to the "saturation" value of 0.5. Most practical cases will lie between the extremes just mentioned, that is to say in the maximum-spread range of the diagram lines in Figure 8. By using this auxiliary 35 variable and the period L which was already determined previously, the depth T of the wave troughs can be

determined with the aid of the graph according to Figure 8, which may also be stored as a data record in a computer and may be incorporated in the calculation.

Comparison of the results obtained in this way 5 for the wave depth T with the values found using the test-score method shows a very good correlation. The depths determined according to the invention are, however, consistently somewhat lower than the reference values in the case of ground surfaces, specifically at 10 about  $62 \pm 5\%$  of the reference values according to the test-score method. This difference is attributable to the different bandwidth limitations of the two methods. Although the test-score method also picks up details of 15 the grinding topography, these details are suppressed in the case of grazing illumination. In the event that direct comparison is required, the depth values found according to the invention need to be multiplied by a correction factor (about 1.6 in the case of ground surfaces).

-

0  
9  
8  
0  
2  
5  
1  
0  
8  
0  
2

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000Patent ClaimsADD A1 7

1. Method for detecting small periodic wave patterns  
5 in technical surfaces, in which the surface is illuminated using a beam of monochromatic coherent light - primary light - and a diffraction image of the periodic wave patterns is produced in the secondary light returned by the surface, the primary light being directed onto the  
10 workpiece surface at a large angle of incidence with respect to the surface normal to the surface of the workpiece and approximately at right angles to the expected periodic wave patterns, and the intensity distribution of the diffraction image being evaluated,  
15 characterised in that  
for isolated determination of the wave pattern (26) of ground surfaces, in which the wave pattern (26) has finer, steeply indented stochastic ground structures (24) superimposed on it, the ground structures (24) are  
20 shadowed (shadows 25) by approximately grazing incidence of the primary light onto the workpiece surface at a constant angle of incidence within the angular range of about  $83\pm2^\circ$ , and in that because of an isolated illumination of the wave patterns (26) thereby achieved  
25 with primary light on their side edges facing towards and away from the light and on their wave crests (27), a diffraction image solely representing the wave patterns (26) is produced.
2. Method according to Claim 1, characterised in  
30 that the secondary light (8) is collected on a matt panel (10) and its intensity distribution is evaluated visually

06-09-2000

EP 009906591

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000

with respect to the occurrence of intensity maxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ).

3. Method according to Claim 1, characterised in that the intensity distribution of the secondary light (8) is measured as a function of position over the image area of the diffraction image, and the measurements are evaluated with respect to the occurrence of intensity maxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ).

4. Method according to Claim 3, characterised in that the intensity distribution of the secondary light (8) is subjected to an autocorrelation, and the autocorrelation function obtained therefrom is evaluated.

5. Method according to one of Claims 1 to 4, characterised in that the (a) spacing of neighbouring intensity maxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) is determined, and the period (L) of the wave pattern (26) is deduced therefrom.

6. Method according to one of Claims 1 to 4, characterised in that the intensity values ( $i_1$ ,  $i_2$ ) of neighbouring intensity maxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) are determined, and the depth (T) of the wave troughs between the wave crests (27) is deduced therefrom and from the period (L) of the wave pattern (26).

7. Arrangement for detecting small periodic wave patterns in the surface of a workpiece, comprising a meter, which can be placed in a defined way on the workpiece surface to be analysed, with a primary-light source which directs a primary light of monochromatic, coherent light beam onto the workpiece surface in a specific direction and a secondary-light display which collects the scattered-light cone returned by the workpiece surface in the meter, in particular for carrying out the method according to one of Claims 1 to

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000

6. characterised by all the following features of the meter:

- at least in the region where the primary-light beam (7) emerges from the meter (1), this beam is directed (16) in

5 such a way that, when the meter (1) is placed properly on the workpiece (11), it strikes the workpiece surface (12) to be analysed at a specific angle in the range of  $83\pm2^\circ$ ,

- the meter (1) is designed in such a way that, after placing on the workpiece surface (12), it can be aligned

10 with respect to the primary beam (7) at least approximately at right angles to any expected periodic wave patterns (26) of the workpiece surface (12),

- the secondary-light display collects the scattered-light cone directly, i.e. without imaging optics, as a 15 diffraction image of the wave pattern (26), and the intensity distribution in the diffraction image can be evaluated.

8. Arrangement according to Claim 7, characterised in that, in the area (2) where it is applied to the 20 workpiece surface (12), the device (1) encloses an exit window in whose lateral boundary optical deviating elements such as mirrors (14, 15) or deviating prisms for the primary beam (7) and the secondary beam (8) are arranged, which bend them in a space-saving way such that 25 the beam component of the primary beam located in front of the primary-beam deviating element (14) and the beam component of the secondary beam located behind the secondary-beam deviating element (15) are aligned approximately at right angles to the workpiece surface 30 (12).

9. Arrangement according to Claim 8, characterised in that the optical deviating elements (14, 15) are

06-09-2000

EP 009906591

New document

DaimlerChrysler AG  
StuttgartFTP/P PÖ  
29.08.2000

arranged in such a way that the beam component of the primary beam (7) located in front of the primary-beam deviating element (14), on the one hand, and the beam component of the secondary beam (8) located behind the 5 secondary-beam deviating element (15), on the other hand, cross each other.

10. Arrangement according to Claim 7, characterised in that the secondary-light display is designed as a matt panel (10) which makes the intensity distribution of the 10 diffraction image visually perceptible.

11. Arrangement according to Claim 7, characterised in that the secondary-light display is designed as a linear or two-dimensional matrix of a plurality of photoreceptive sensors which measures the intensity 15 distribution of the diffraction image.

12. Arrangement according to Claim 7, characterised in that both a matt panel (10), which makes the intensity distribution of the diffraction image visually perceptible, and a linear or two-dimensional matrix of a 20 plurality of photoreceptive sensors, which measures the intensity distribution of the diffraction image, are arranged in the secondary-light display, and the secondary-beam path is accessible to them via a beam splitter or via a tilting mirror.

25 13. Arrangement according to Claim 12, characterised in that a digitally operating camera (23), which can be used to record the intensity distribution of the diffraction image of the secondary-beam path (8), is fitted (22) to the meter (1).

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM  
GEBIET DES PATENTWESE**

Absender: MIT DER INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN  
PRÜFUNG BEAUFTRAGTE BEHÖRDE

<p>An:</p> <p>BRÜCKNER, Ingo DaimlerChrysler AG Intellectual Property Management FTP-C106 D-70546 Stuttgart ALLEMAGNE</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">FTP</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Eing.:</td> <td>15. Dez. 2000</td> </tr> <tr> <td>UT.,</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">z. Erledigung</td> <td style="text-align: center;">FTP/E</td> <td style="text-align: center;">FTP/P</td> <td style="text-align: center;">FTP/S</td> </tr> <tr> <td>Frist</td> <td colspan="3">15.12.2000</td> </tr> </table>	FTP		Eing.:	15. Dez. 2000	UT.,		z. Erledigung	FTP/E	FTP/P	FTP/S	Frist	15.12.2000			<p><b>PCT</b></p> <p>MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERSENDUNG DES INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN PRÜFUNGSBERICHTS (Regel 71.1 PCT)</p>
FTP																
Eing.:	15. Dez. 2000															
UT.,																
z. Erledigung	FTP/E	FTP/P	FTP/S													
Frist	15.12.2000															
<p>Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <u>29524/WO/1</u></p>		<p>Absendedatum (Tag/Monat/Jahr) <u>16.12.00</u></p>														
<p>Internationales Aktenzeichen <u>PCT/EP99/06591</u></p>		<p>Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) <u>07/09/1999</u></p>	<p>Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) <u>08/10/1998</u></p>													
<p>Anmelder <u>DAIMLERCHRYSLER AG et al.</u></p>																
<p><b>WICHTIGE MITTEILUNG</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß ihm die mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde hiermit den zu der internationalen Anmeldung erstellten internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen, übermittelt.</li> <li>2. Eine Kopie des Berichts wird - gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen - dem Internationalen Büro zur Weiterleitung an alle ausgewählten Ämter übermittelt.</li> <li>3. Auf Wunsch eines ausgewählten Amtes wird das Internationale Büro eine Übersetzung des Berichts (jedoch nicht der Anlagen) ins Englische anfertigen und diesem Amt übermitteln.</li> </ol> <p><b>4. ERINNERUNG</b></p> <p>Zum Eintritt in die nationale Phase hat der Anmelder vor jedem ausgewählten Amt innerhalb von 30 Monaten ab dem Prioritätsdatum (oder in manchen Ämtern noch später) bestimmte Handlungen (Einreichung von Übersetzungen und Entrichtung nationaler Gebühren) vorzunehmen (Artikel 39 (1)) (siehe auch die durch das Internationale Büro im Formblatt PCT/IB/301 übermittelte Information).</p> <p>Ist einem ausgewählten Amt eine Übersetzung der internationalen Anmeldung zu übermitteln, so muß diese Übersetzung auch Übersetzungen aller Anlagen zum internationalen vorläufigen Prüfungsbericht enthalten. Es ist Aufgabe des Anmelders, solche Übersetzungen anzufertigen und den betroffenen ausgewählten Ämtern direkt zuzuleiten.</p> <p>Weitere Einzelheiten zu den maßgebenden Fristen und Erfordernissen der ausgewählten Ämter sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.</p>																

<p>Name und Postanschrift der mit der internationalen Prüfung beauftragten Behörde</p> <p>Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465</p>	<p>Bevollmächtigter Bediensteter</p> <p>De Caevel, J-M</p> <p>Tel. +49 89 2399-2557</p>
---	---



# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

## PCT

### INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts 29524/WO/1	<b>WEITERES VORGEHEN</b>	siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416)
Internationales Aktenzeichen PCT/EP99/06591	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 07/09/1999	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 08/10/1998
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK G01B11/30		
Anmelder DAIMLERCHRYSLER AG et al.		

1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 11 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.  <input checked="" type="checkbox"/> Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).  Diese Anlagen umfassen insgesamt 10 Blätter.
3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:  <ul style="list-style-type: none"><li>I <input checked="" type="checkbox"/> Grundlage des Berichts</li><li>II <input type="checkbox"/> Priorität</li><li>III <input type="checkbox"/> Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit</li><li>IV <input type="checkbox"/> Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung</li><li>V <input checked="" type="checkbox"/> Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderische Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung</li><li>VI <input type="checkbox"/> Bestimmte angeführte Unterlagen</li><li>VII <input checked="" type="checkbox"/> Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung</li><li>VIII <input checked="" type="checkbox"/> Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung</li></ul>

Datum der Einreichung des Antrags 18/02/2000	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 16.12.00
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter  Beyfuß, M Tel. Nr. +49 89 2399 2725



**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER  
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/EP99/06591

**I. Grundlage des Berichts**

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):  
**Beschreibung, Seiten:**

5-19                    ursprüngliche Fassung

1-4,4a-4b            eingegangen am                    06/09/2000 mit Schreiben vom    29/08/2000

**Patentansprüche, Nr.:**

1-13                    eingegangen am                    06/09/2000 mit Schreiben vom    29/08/2000

**Zeichnungen, Blätter:**

1/5-5/5                ursprüngliche Fassung

2. Hinsichtlich der Sprache: Alle vorstehend genannten Bestandteile standen der Behörde in der Sprache, in der die internationale Anmeldung eingereicht worden ist, zur Verfügung oder wurden in dieser eingereicht, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

Die Bestandteile standen Behörde in der Sprache: , zur Verfügung bzw. wurden in dieser Sprache eingereicht; dabei handelt es sich um

- die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen Recherche eingereicht worden ist (nach Regel 23.1(b)).
- die Veröffentlichungssprache der internationalen Anmeldung (nach Regel 48.3(b)).
- die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen vorläufigen Prüfung eingereicht worden ist (nach Regel 55.2 und/oder 55.3).

3. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale vorläufige Prüfung auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das:

- in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
- zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
- bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- Die Erklärung, dass das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
- Die Erklärung, dass die in computerlesbarer Form erfassten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

# INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP99/06591

## 4. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- Beschreibung, Seiten:  
 Ansprüche, Nr.: 14  
 Zeichnungen, Blatt:

## 5. Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)).

*(Auf Ersatzblätter, die solche Änderungen enthalten, ist unter Punkt 1 hinzuweisen; sie sind diesem Bericht beizufügen).*

## 6. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

## V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

### 1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	4-13
	Nein: Ansprüche	1-3
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	4,6,8,9
	Nein: Ansprüche	5,7,10,11,12,13
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-13
	Nein: Ansprüche	

### 2. Unterlagen und Erklärungen siehe Beiblatt

## VII. Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung

Es wurde festgestellt, daß die internationale Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:  
siehe Beiblatt

## VIII. Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Zur Klarheit der Patentansprüche, der Beschreibung und der Zeichnungen oder zu der Frage, ob die Ansprüche in vollem Umfang durch die Beschreibung gestützt werden, ist folgendes zu bemerken:  
siehe Beiblatt

Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- D1: US-A-3 850 526
- D2: US-A-5 189 490
- D3: D. MARCUSE: "LIGHT TRANSMISSION OPTICS", VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, ISBN 0 442263090, NEW YORK, 1982, Seite 52-56
- D4: EP-A-0585839

**Zu Punkt V**

**Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

1. Technisches Gebiet: Erkennen periodischer Welligkeiten in Oberflächen
2. Stand der Technik

Die Dokumente aus dem Internationalen Recherchenbericht zeigen Verfahren und Vorrichtungen zum Vermessen periodischer Oberflächenstrukturen durch Auswertung des Beugungsbildes. Als nächster Stand der Technik für die Ansprüche 1 und 7 können die Dokumente D1 und D2 angesehen werden, die in 3.1-3.3 diskutiert werden. D1 und D2 beschäftigen sich mit der Untersuchung von technischen Werkstückoberflächen durch Auswertung des Beugungsbildes. Dabei sollen periodische Oberflächenstrukturen erkannt werden; nur so entsteht ein strukturiertes Beugungsbild (D1: Sp. 3, Z. 5-25 und Fig. 9-12; D2: Fig. 1B). Zwar wird in D1 und D2 nicht explizit der Begriff "Welligkeit" verwendet, sondern nur von Oberflächencharakteristik etc. oder von "Rauhigkeit (roughness)" gesprochen, da es jedoch keine genaue Abgrenzung zwischen Rauhigkeit und Welligkeit gibt (Welligkeit hat lediglich größere Ortswellenlängen als Rauhigkeit), dient der Begriff "Welligkeit" im Anspruch 1 nicht zur Abgrenzung gegenüber Rauhigkeitsmeßverfahren. Daher sind D1 und D2 als relevanter Stand der Technik für die vorliegende Anmeldung heranzuziehen. Unabhängig davon wäre eine völlig analoge Übertragung einer Meßtechnik von kürzeren Ortswellenlängen (Rauhigkeit) auf längere (Welligkeit) nicht als erfinderisch anzusehen.

**3. Neuheit (Artikel 33(2) PCT)**

**3.1 Der Gegenstand des Anspruchs 1 ist aus den Dokumenten D1 und D2 bekannt:**

D1 beschreibt ein Verfahren (zur verwendeten Vorrichtung s. z.B. Fig. 1), bei dem die Werkstückoberfläche 11 mit einem monochromatischen, kohärenten Primärlichtstrahl (von Infrarot-Laser 5, Sp. 3, Z. 41-42) beleuchtet wird und das von der Oberfläche zurückgeworfene Sekundärlicht untersucht wird. Der Primärlichteinfall geschieht dabei sicherlich unter einem "großen Einfallswinkel" (das ist nur ein unpräziser Begriff; der Bereich 75-85° (Anspruch 2) oder exakt 80° (Sp. 4, Z. 39 80°) sind sicher als "großer Einfallswinkel" aufzufassen). Weiterhin ist der Primärlichtstrahl auch "annähernd quer" zu den erwartenden periodischen Welligkeiten angeordnet, sonst würde kein strukturiertes Beugungsbild entstehen, wie es aber in Fig. 9-12 gezeigt ist.

Die in Fig. 9-12 gezeigten Beugungsbilder weisen deutlich erkennbare Spitzen ("Peaks") auf, die sich von einem nahezu unstrukturierten Untergrund abheben. Dies bedeutet, daß die Spitzen ausgeprägte periodische Strukturen ("Welligkeiten") wiedergeben, während der deutlich niedrigere Untergrund stochastischen Strukturen zuzuordnen ist. Da in D1 die Spitzen ausgewertet werden (es werden die Höhenverhältnisse der Intensitätsmaxima ermittelt; Sp. 5, Z. 30-38) und der Untergrund nicht von Interesse ist, kann man durchaus von einer isolierten Ermittlung der Welligkeit und von einem allein die Welligkeiten repräsentierenden Beugungsbild sprechen. D1 erwähnt außerdem, daß es auf der Probenoberfläche eine dominierende Oberflächenstruktur gibt, die durch das Schnittwerkzeug verursacht wird (Sp. 3, Z. 22-24). Dies bedeutet dann aber, daß diese dominierende, durch das Werkzeug verursachte Struktur feinere Strukturen abschattet (sonst wäre sie ja nicht dominierend). Schließlich wird der Einfallswinkel in D1 innerhalb einer Messung konstant gehalten und die in D1 genannten Wertebereiche nehmen den im Anspruch definierten Wertebereich von "etwa" (wiederum eine unpräzise Angabe) 81-85° zweifellos vorweg: 80° ist sicherlich "etwa 81-85°".

Somit offenbart D1 den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1 und das Verfahren aus Anspruch 1 ist nicht neu.

In D2 (s. Fig. 3) wird ebenfalls ein Laser 22 (Sp. 5, Z. 48-49) z.B. streifend ("tangential", Sp. 4, Z. 28-30) auf die Werkstückoberfläche 16 gerichtet, das Beugungsbild wird aufgezeichnet und die darin enthaltene Intensitätsverteilung wird ausgewertet, wie in Sp. 8, Z. 38-Sp. 9, Z. 49 beschrieben. Auch wenn D2 keine Einfallswinkel angibt, so grenzt die unpräzise Angabe "etwa 81-85°" den Gegenstand des Anspruchs 1 sicher nicht klar vom Verfahren aus D2 ab. Die unpräzise Definition "annähernd" quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten eignet sich ebenfalls nicht zur Abgrenzung von D2.

Auch wenn in den Beispielen in D2 nur Beugungsbilder von Oberflächen unterschiedlicher Rauigkeit gezeigt werden, so beschreibt D2 dennoch die Anwendung des Verfahrens zur Messung spezifischer Merkmale, die an der Oberfläche durch die Bearbeitung (z.B. durch Honen) entstanden sind (Sp. 8, Z. 1-6). Dies bedeutet aber dann, daß Oberflächen mit charakteristischen periodischen Bearbeitungsspuren, wie sie z.B. beim Honen entstehen, untersucht werden. Strahlt man dann das Primärlicht wie in D2 gezeigt (Fig. 3) unter einem sehr flachen Winkel ein, so entstehen an Oberflächen mit charakteristischen periodischen Welligkeiten zwangsläufig die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmale.

### 3.2 Der Gegenstand des Anspruchs 2 ist ebenfalls aus D2 bekannt:

In D2 wird eine Mattscheibe 62 verwendet (Sp. 6, Z. 33), an der die Intensitätsmaximaverteilung im Beugungsbild visuell ausgewertet wird. Diese "visuelle Auswertung hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima" geschieht im einfachsten Fall durch einfaches Betrachten der Mattscheibe und Erkennen von Strukturen. Eine solche einfache Auswertung ist aber in D2 offenbart, denn welchen anderen Zweck hätte sonst die Mattscheibe 62?

### 3.3 Der Gegenstand des Anspruchs 3 ist aus den Dokumenten D1 und D2 bekannt:

In D1 wird der Detektor zur vollen Aufnahme des Beugungsbildes rotiert (Sp. 4, Z. 38-40). In der Auswertung werden dann die Verhältnisse bestimmter Intensitätsmaxima zueinander herangezogen (Sp. 5, Z. 34-37). In D2 wird eine Kamera 40 zur Aufnahme des gesamten Beugungsbildes verwendet, deren Bild

auf einem Display dargestellt wird (Sp. 8, Z. 60-65). Auch hier erfolgt sicherlich eine einfache Auswertung beim Betrachten des Bildschirmes.

4. Erfinderische Tätigkeit (Artikel 33(3) PCT)

4.1 Der Gegenstand des Anspruchs 5 beruht nicht auf erforderlicher Tätigkeit:

Die Anmeldung sowie die Dokumente D1 und D2 sind auf das Vermessen von durch die Oberflächenbearbeitung mit Werkzeugen entstandenen periodischen Strukturen auf Werkstoffoberflächen gerichtet (D1: Sp. 3, Z. 5-25; D2: Sp. 8, Z. 5-6). Die Periodenlänge dieser Strukturen ist daher zweifelsfrei für den Fachmann von großem Interesse. Ein mit den Grundlagen der Optik vertrauter Fachmann weiß aber sicherlich auch, daß die Periodenlänge dieser Strukturen auf einfache Weise aus dem Beugungsbild zu ermitteln ist: Dieser Zusammenhang ist einem Fachmann aus einschlägigen Lehrbüchern bekannt (z.B. wird das Dokument D3 beigelegt) und auch die explizite Anwendung an Oberflächengittern zur Bestimmung der Gitterkonstante (als Beispiel wird das Dokument D4 beigelegt) ist weithin bekannt. Ein Fachmann würde daher, vor das Problem gestellt, die Ortswellenlänge der periodischen Struktur zu bestimmen, sicherlich das Beugungsbild zur Bestimmung benutzen, zumal dies in D1 und D2 ja schon zur Auswertung vorliegt. Daß dabei nicht die absolute Lage der Linien, sondern der Abstand benachbarter Linien herangezogen werden kann, ist ein marginaler Punkt, der auch aus D4 offensichtlich wird: Statt die Lage der ersten Ordnung zu vermessen, kann auch der "Nachbarabstand" gemessen werden (beide Werte sind gleich). Eine erforderliche Tätigkeit wird daher nicht gesehen.

4.2 Auch der Gegenstand des Anspruchs 7 beruht nicht auf erforderlicher Tätigkeit:

Wie bereits in 3.1 diskutiert, offenbaren die Dokumente D1 und D2 eine Anordnung zum Erkennen von periodischen Oberflächenstrukturen mit einer Laserquelle (monochromatisches, kohärentes Licht) und einer Sekundärlicht-Anzeige. Die Anordnungen aus D1 und D2 sind auch sicherlich "definiert auf der Werkstoffoberfläche aufsetzbar" und "zumindest annähernd quer zu den etwaigen zu erwartenden periodischen Welligkeiten ausrichtbar": Diese Merkmale schaffen keine klare Abgrenzung zum Stand der Technik, da sie durch Positionierung des

(nicht zur Apparatur gehörigen) Werkstücks bei jeder Apparatur erreicht werden können (s. auch VIII/3.1). Außerdem ist in D1 ein Ausführungsbeispiel (Fig. 15) gezeigt, bei dem dieses "definierte Aufsetzen" tatsächlich ausgeführt ist.

Zweifellos wird in D1 das Beugungsbild in D1 ohne Abbildungsoptik eingefangen und dessen Intensitätsmaximaverteilung ausgewertet. Im Dokument D2 ist zwar ein Spiegel 28 erkennbar, ein solcher ist aber auch im Ausführungsbeispiel der Anmeldung vorhanden, so daß dieser wohl nicht als Abbildungsoptik aufzufassen ist.

Der Gegenstand des Anspruchs 7 unterscheidet sich hiervon lediglich dadurch, daß der Einfallswinkel im Bereich von 81-85° liegt. Es scheint, daß dieser Bereich durch routinemäßige Optimierung der Apparatur gefunden wurde. Aus D1 ist z.B. 75-85° bekannt und die Anmeldung selbst konstatiert, daß die Apparatur durchaus von 75-88° (S. 8, viertletzte Zeile) betrieben werden kann.

Überraschende technische Wirkungen im Bereich 81-85° werden in der Anmeldung nicht benannt und sind auch nicht ersichtlich. Die Auswahl des Winkelbereichs wird daher als eine routinemäßige und für den Fachmann naheliegende Parameterauswahl angesehen, die keine erfinderische Tätigkeit begründet (s. PCT-Richtlinien, Kap. IV, C1, (ii)).

4.3 Der Gegenstand der Ansprüche 10-13 beruht ebenfalls nicht auf erfinderischer Tätigkeit:

D2 offenbart zum Erfassen des Beugungsbildes eine Mattscheibe 62 (Sp. 6, Z. 33) sowie eine als Matrix ausgebildete Digital-Kamera 40 (Sp. 6, Z. 7-14), wobei der Mattscheibe und der Kamera der Sekundärstrahlengang über den Klappspiegel 28 (Sp. 5, Z. 55-57) zugänglich ist. Somit sind alle spezifischen Merkmale der Ansprüche 10-13 aus D2 bekannt und sie liefern keinen Beitrag zu erfinderischer Tätigkeit.

5. Neuheit und erfinderische Tätigkeit / Ansprüche 4, 6, 8 und 9 (Artikel 33(2) und 33(3) PCT):

Anspruch 4: Das Verfahren nach Anspruch 4 unterscheidet sich von den Verfahren aus D1 und D2 dadurch, daß die Intensitätsverteilung des

Sekundärlichtes einer Autokorrelation unterworfen wird und die daraus gewonnene Autokorrelationsfunktion ausgewertet wird. Der Gegenstand des Anspruchs 4 ist daher neu. Ausgehend von D1 oder D2 besteht auch keine Veranlassung für den Fachmann, diese Auswertetechnik anzuwenden. Sie wird weder in den übrigen Dokumenten des Recherchenberichts noch in D3 oder D4 nahegelegt. Der Gegenstand des Anspruchs 4 beruht daher auch auf erfinderischer Tätigkeit.

Anspruch 6: Das Verfahren nach Anspruch 6 unterscheidet sich von den Verfahren nach D1 und D2 dadurch, daß die Tiefe der Wellentäler aus der Intensität benachbarter Intensitätsmaxima und der Periodenlänge der Welligkeit ermittelt wird. Der Gegenstand des Anspruchs 6 ist daher neu. Zwar ist die Ermittlung der Tiefe von Strukturen durch Auswerten des Beugungsbilds aus dem Stand der Technik bekannt, das spezifische Verfahren nach Anspruch 6 wird aber weder beschrieben noch nahegelegt.

Ansprüche 8 und 9: Die im Anspruch 8 definierte kompakte Ausführung des Geräts wird im verfügbaren Stand der Technik weder beschrieben noch nahegelegt. Der Gegenstand des Anspruchs 8 (und des darauf rückbezogenen Anspruchs 9) ist daher neu und auf erfinderischer Tätigkeit beruhend.

6. Gewerbliche Anwendbarkeit (Artikel 33(4) PCT)

Der Gegenstand der Ansprüche 1-13 ist zweifellos gewerblich anwendbar, z.B. für die Überwachung der Oberflächenqualität von Kraftfahrzeugteilen.

**Zu Punkt VII**

**Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung**

1. In der Beschreibung auf S. 4 wird erwähnt, daß das Verfahren und die Vorrichtung aus D1 bis zu einem Winkel von maximal 80° betrieben wird. Es ist jedoch so, daß der Einfallswinkel im Bereich 75-85° (s. dortiger Anspruch 2) liegt und in einem Ausführungsbeispiel bei 80° liegt (nicht maximal).

2. Die in Verbindung miteinander aus dem Stand der Technik bekannten Merkmale (Dokument D1 oder D2) sind derzeit nicht im Oberbegriff eines unabhängigen Anspruchs aufgeführt (Regel 6.3 b) PCT).

**Zu Punkt VIII**

**Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung (Artikel 6 PCT)**

1. Im Anspruch 1 wird der Begriff "Primärlichtstrahl" in Bindestrichen hinter "Lichtstrahl" eingeschoben. Es ist wohl der Begriff "Primärlichtstrahl (7)" gemeint. Im gleichen Anspruch wird definiert, daß die Welligkeiten an deren lichtzu- und lichtabgewandten Seitenflanken ausgeleuchtet werden. Es ist unverständlich, wie ein Objekt an der lichtabgewandten Seitenfläche beleuchtet werden kann. Wenn diese beleuchtet wird, dann ist sie gerade nicht "lichtabgewandt".
2. Im Anspruch 6 wird definiert, daß aus den Intensitäten benachbarter Maxima und aus der Periodenlänge auf die Tiefe der Strukturen geschlossen wird. Zwar zeigt die Beschreibung ein einzelnes Ausführungsbeispiel einer solchen Tiefenbestimmung, es gibt aber erhebliche Zweifel, daß ein Fachmann außerhalb dieses speziellen Ausführungsbeispiels die Tiefe wirklich bestimmen kann. Der Anspruch 6 ist daher in seiner Breite nicht ausreichend durch die Beschreibung gestützt (s. PCT-Richtlinien, Kap. III, 6.3).
3. Der Anspruch 7 enthält folgende Unklarheiten:
  - 3.1 Im Anspruch wird versucht, die Vorrichtung über deren Bezug zur Probe (die ja nicht zur Vorrichtung gehört) anstatt über die technischen Mittel der Vorrichtung zu definieren: So soll die Vorrichtung "definiert auf der Werkstoffoberfläche aufsetzbar" sein und bei "ordnungsgemäßem Aufsetzen" eine bestimmte Orientierung zur Probe haben. Dieses definierte "Aufsetzen" ist aber immer möglich, ein Unterschied zum Stand der Technik ist daraus nicht ableitbar. Weiterhin ist "ordnungsgemäß" eher ein juristischer Begriff, aber kein technisches Merkmal, daß eine Vorrichtung definiert.

- 3.2 Die Begriffe "(zumindest) annähernd streifend/quer" sind relativ und verschwommen und nicht geeignet, einen klaren Unterschied zum Stand der Technik zu definieren.
- 3.3 Der Anspruch ist auf eine Vorrichtung gerichtet, definiert diese aber in der Formulierung "fängt...als Beugungsbild ein" durch funktionale Merkmale.
- 3.4 Es ist unklar, ob die Vorrichtung Mittel zur Auswertung des Beugungsbildes enthält oder ob nur "das Beugungsbild auswertbar ist" (jedes Beugungsbild ist auswertbar).

DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

FTP/P -PÖ  
29.08.2000

Vermessen kleiner, periodischer Welligkeiten in Oberflächen

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren und einer Anordnung zum Erkennen und Vermessen periodischer, kleiner Welligkeiten in technischen Oberflächen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 (Verfahren) bzw. nach dem Oberbegriff von Anspruch 7 (Anordnung), wie sie beispielsweise aus der US-PS 3 850 526 als bekannt hervorgehen.

Nachdem die Anmelderin auf feinbearbeiteten Werkstückoberflächen unbeabsichtigte Welligkeiten der hier interessierenden Art mit einer Periodenlänge bis zu etwa 1,5 mm beobachten konnte und nicht auszuschließen ist, daß es noch größere Periodenlängen bei Welligkeiten der hier in Rede stehenden Art gibt, seien hier unter "kleinen Welligkeiten" solche mit einem gegenseitigen Abstand der Welligkeitsspitzen unterhalb von zwei Millimetern verstanden, wobei in den meisten Fällen die Periodenlänge deutlich unter einem Millimeter liegen wird.

Für eine sichere Dichtfunktion an Wellen-Durchtrittstellen durch Gehäusewandungen sind außer dem mit einer ringförmigen Radialdichtlippe versehenen Dichtring auch die Eigenschaften der wellenseitigen Gegenlauffläche mit zu berücksichtigen. Zur Herstellung glatter Oberfläche an derartigen Wellenzapfen können diese am Umfang geschliffen, feingedreht, glattgewalzt, rolliert oder außengerieben werden. Der Konstrukteur schreibt für den Wellenzapfen außer bestimmten Rauheitswerten auch noch Drallfreiheit der Oberfläche vor. Drallfrei beispielsweise von geschliffenen Oberflächen bedeutet, daß die Schleifstruktur exakt in Umfangsrichtung liegt und überlagerte regelmäßige Wellenan-

teile fehlen. Es ist jedoch in der heutigen Serienfertigung nicht nur problematisch, technische Oberflächen reproduziert sich drallfrei herzustellen, sondern es bereitet darüber hinaus Schwierigkeiten, eine solche Drallfreiheit sicher zu erkennen und gegebenenfalls eine Drallstruktur zu quantifizieren.

Die auf die Anmelderin zurückgehende DE 197 40 141 A1 beschreibt eine mechanisch arbeitende Tastschnittmethode zur Ermittlung und Quantifizierung von hier interessierenden Drallstrukturen oder Welligkeiten, die zu zuverlässigen und quantitativ umfassenden Aussagen bezüglich praktisch aller relevanten Parameter der Drallstruktur führt. Das bekannte Tastschnittverfahren führt insbesondere auch dann, wenn die Welligkeit nur gering ausgeprägt und/oder mit einem starken stochastischen Rauigkeitsanteil überlagert ist, zu brauchbaren Ergebnissen, wenn man den stochastischen Rauheitsanteil aufgrund einer Autokorrelation der Oberflächendaten weitgehend eliminiert hat. Allerdings erfordert das bekannte Verfahren zur Generierung der Oberflächendaten einen hohen Zeitaufwand und muß mit großer Sorgfalt durchgeführt werden. Mit diesem Verfahren kann man daher nicht unmittelbar die Fertigung von technischen Oberflächen überwachen. Hingegen kann dieses Verfahren zur Kontrolle anderer Drallermittlungsverfahren als Referenzmethode eingesetzt werden.

In einer älteren Anmeldung der Anmelderin gemäß der nachveröffentlichten DE 198 09 790 A1 ist ein berührungslos optisch arbeitendes Verfahren beschrieben, bei dem die Rohdaten der zu untersuchenden Oberfläche aus einer unmittelbaren, vergrößerten Abbildung eines kleinen Ausschnittes der Oberfläche gewonnen werden. Das Verfahren arbeitet mit beliebigem Licht als Primärlichtart. Die damit beleuchtete Oberfläche wird unter Verwendung einer Abbildungsoptik scharf auf einer Mattscheibe oder auf einem Photodiodenarray hoher Auflösung abgebildet. Bei diesem Verfahren sind grobe und stark geneigte Drallstrukturen ohne weitere Ver-

arbeitung der Bilddaten direkt aus dem visuellen Bildeindruck erkennbar. Derartige stark ausgeprägte Drallstrukturen sind jedoch dem geübten Auge auch so; d.h. lediglich bei geeigneter Beleuchtung und unter Zuhilfenahme einer Lupe, erkennbar. Derartige, grobe Fälle treten in der Praxis im übrigen selten auf und bereiten bezüglich ihrer Erkennbarkeit keine Probleme. Bei geringer ausgeprägten und/oder wenig geneigten Drallstrukturen müssen jedoch nach dem genannten Verfahren Bilddatensätze von mehreren benachbarten Oberflächenpartien generiert und diese lagerichtig zu einem einheitlichen Bilddatensatz vereinigt werden, wobei jeder einzelne Bilddatensatz zuvor jeweils einer Radontransformation unterworfen wird.

Zwar arbeitet das erwähnte Drallermittlungsverfahren gemäß der nachveröffentlichten DE 198 09 790 A1 schneller als die Tastschnittmethode, jedoch erfordert es in sofern ebenfalls eine gewisse Sorgfalt, als zum einen die Referenzlage des Werkstückes zur Meßeinrichtung genau bekannt sein muß und als zum anderen Meßgerät und Werkstück während der Messung absolut ruhig zueinander gehalten werden müssen. In der bekannten Relativlage von Werkstückachse und Meßeinrichtung müssen mehrere Aufnahmen in dichter Folge gemacht werden, was ebenfalls zeitaufwendig ist und Sorgfalt erfordert. Darüber hinaus erfordert auch die Auswertung in sofern eine gewisse Sorgfalt und Überwachung, als die einzelnen Bilder hinsichtlich einer einheitlichen mittleren Grauwertvereinigung einander angepaßt werden müssen. Das bekannte Verfahren liefert zwar Aussagen über den Abstand der Wellen und deren Neigung gegenüber einer Referenzrichtung. Aussagen über die Tiefe der Welligkeiten oder deren Querschnitt können mit dieser Methode jedoch nicht unmittelbar und nur mit Einschränkungen gewonnen werden. Mit dem bekannten Verfahren läßt sich im Labor an in begrenzter Zahl bereitgestellten Werkstücken das Vorhandensein oder Fehlen eines Oberflächendralls nachweisen, jedoch ist das Verfahren für einen Einsatz in der Fertigung weniger geeignet.

Die eingangs erwähnte US-PS 3 850 526 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optischen Detektion periodischer Welligkeiten in fein bearbeiteten Werkstückoberflächen, bei dem diese mit einem Strahl von monochromatischem, kohärentem Licht - Primärlicht - beleuchtet und ein Beugungsbild der periodischen Welligkeiten in dem von der Oberfläche zurückgeworfenen Sekundärlicht erzeugt wird. Dabei wird das Primärlicht unter einem großen Einfallwinkel zur Oberflächennormalen der Werkstückoberfläche und annähernd quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten auf die Werkstückoberfläche gerichtet und die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes ausgewertet. Von den beteiligten Strahlen, nämlich dem einfallenden Primärlichtstrahl und dem ausfallenden Sekundärstrahl, wird dort der eine unter einem feststehenden Winkel von maximal  $80^\circ$  zur Oberflächennormalen gehalten, wogegen der Strahl- oder Auswertekanal des jeweils anderen Strahls um einen relativ großen Winkelbereich um die Lage des gespiegelten Strahles herum beweglich ist. Mittels einer schwenkbaren Strahlanordnung werden die stärksten Beugungsordnungen vollständig erfaßt und in ihrem Intensitätsverlauf gemessen. Durch Vergleich der an einem Werkstück gemessenen Intensitätsverteilung des Beugungslichtes mit an verschiedenen Rauhigkeits-Standards zuvor gewonnenen Intensitätsverteilungen kann die Oberflächenrauhigkeit des zu untersuchenden Werkstückes angegeben werden. Die bekannte Art der Oberflächenprüfung ist jedoch nicht auf geschliffene Oberflächen übertragbar, bei der zwei unterschiedlich feine Formstrukturen einander überlagert sind, von denen jedoch nur die eine interessiert. Das Beugungsbild der periodischen Welligkeiten wäre vom Speckle-Rauschen der stochastischen Schleifstrukturen bis zur Unkenntlichkeit überlagert und dadurch in keiner Weise aussagekräftig.

Die US-PS 5 189 490 zeigt eine normale Rauhigkeitsmessung nach der Streulichtmethode, bei der ein Primärlichtstrahl an der zu untersuchenden Oberfläche reflektiert und der reflektierte Sekundärstrahl dabei in einer für die Rauhig-

keitsstruktur der Oberfläche charakteristischen Weise ge-streut wird. Es findet bei dieser prinzipiell und in unterschiedlichen Ausgestaltungen und/oder Anwendungen weit verbreiteten Streulichtmethode keine Beugung an einer periodischen Beugungsstruktur und keine Ausrichtung des Primärlichtes quer zur Orientierung paralleler Bearbeitungsspuren statt. Das aus der zitierten Druckschrift bekannte Verfahren liefert erst nach einem Vergleich des am Probanden gewonnenen Ist-Musters der Streulichtkeule mit einer Vielzahl abgespeicherter, zuvor an bekannten Mustern erzeugter Referenzmuster mittelbar eine qualitative und quantitative Aussage über die zu untersuchenden Oberfläche.

Die US-PS 3 782 827 zeigt ein ganz ähnliches, nach der Streulichtmethode arbeitendes Vergleichsverfahren zur Ermittlung der Rauhigkeitsstruktur von technischen Oberflächen. Dieses Meßverfahren liefert lediglich ein gewisses Ist-Muster einer Streulichtverteilung des jeweiligen Probanden. Durch Ähnlichkeitsvergleich anhand einer Vielzahl abgespeicherter Referenzmustern kann nur mittelbar eine Aussage getroffen werden, ob oder ob nicht der untersuchte Proband eine ähnliche Oberflächentopographie hat, wie eine bekannte Probe.

Aufgabe der Erfindung ist es, das gattungsgemäß zugrundegelegte Verfahren bzw. eine entsprechende Anordnung in Richtung Fabrikationstauglichkeit so zu verbessern, daß eine Messung rasch, freihändig und mit reproduzierbarer Aussagekraft durchgeführt werden kann. Insbesondere soll eine exakte relative Ausrichtung von Werkstück und Gerät für das Meßergebnis nicht mehr erforderlich sein; trotzdem soll aber selbst bei einer relativ unruhigen Handhalterung sowohl des Werkstücks als auch des Gerätes eine hinreichende Stabilität des Meßbildes gewährleistet sein. Dabei soll eine einzige Messung nicht nur zu einer zuverlässigen qualitativen Aussage führen, ob eine periodische Oberflächenwelligkeit "vorhanden" oder "nicht vorhanden" ist, sondern es sollen gegebenenfalls - bei entsprechender Bilddatenaus-

wertung - auch quantitative Aussagen über die Periodenlänge und die Tiefe der Welligkeit möglich sein.

Diese Aufgabe wird bei Zugrundelegung des gattungsgemäßen Verfahrens erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 und bezüglich der entsprechenden Anordnung durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 7 gelöst.

Erfindungsgemäß wird mittels monochromatischem, kohärentem Licht, welches die Wellenkämme der Oberfläche quer zu ihrer Längserstreckung bei großem Einfallswinkel - annähernd streifender Einfall - trifft, unter Ausnutzung der Beugung an der wellenförmigen Oberflächenstruktur als Beugungsgitter ein Beugungsbild erzeugt und die Intensitätsverteilung in demselben ausgewertet. Durch den großen Einfallwinkel des Lichtes wird der Einfluß des Streulichtes der stochastischen Schleifstruktur im Beugungsbild weitgehend eliminiert. Das Beugungsbild steht ungeachtet einer mehr oder weniger guten Ruhighaltung der Meßeinrichtung relativ zum

(Fortsetzung der Beschreibung wie auf Seite 5 oben in den Ursprungsunterlagen)

DaimlerChrysler AG  
Stuttgart

FTP/P -PÖ  
29.08.2000

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten in technischen Oberflächen, bei dem die Oberfläche mit einem Strahl von monochromatischem, kohärentem Licht - Primärlicht - beleuchtet und ein Beugungsbild der periodischen Welligkeiten in dem von der Oberfläche zurückgeworfenen Sekundärlicht erzeugt wird, wobei das Primärlicht unter einem großen Einfallwinkel zur Oberflächennormalen der Werkstückoberfläche und annähernd quer zu den zu erwartenden periodischen Welligkeiten auf die Werkstückoberfläche gerichtet wird, und wobei die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes ausgewertet wird,

dadurch gekennzeichnet, daß zur isolierten Ermittlung der Welligkeit (26) von geschliffenen Oberflächen, bei denen die Welligkeit (26) von feinen, steil eingekerbten, stochastischen Schleifstrukturen (24) überlagert sind, durch annähernd streifendes Einstrahlen des Primärlichtes unter einem konstanten Einfallwinkel innerhalb des Winkelbereiches von etwa  $83\pm2^\circ$  auf die Werkstückoberfläche die Schleifstrukturen (24) abgeschattet (Abschattungen 25) werden und daß aufgrund einer dadurch bewirkten isolierten Ausleuchtung der Welligkeiten (26) mit Primärlicht an deren lichtzu- und lichtabgewandten Seitenflanken und an deren Wellenkämmen (27) ein allein die Welligkeiten (26) repräsentierendes Beugungsbild erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß

das Sekundärlicht (8) auf einer Mattscheibe (10) eingefangen und deren Intensitätsverteilung visuell hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ausgewertet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß die Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes (8) über die Bildfläche des Beugungsbildes hinweg ortsabhängig gemessen und die Meßwerte hinsichtlich des Auftretens von Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ausgewertet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, daß die Intensitätsverteilung des Sekundärlichtes (8) einer Autokorrelation unterworfen und die daraus gewonnene Autokorrelationsfunktion ausgewertet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß der (a) Abstand benachbarter Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ermittelt und daraus auf die Periodenlänge (L) der Welligkeit (26) geschlossen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß die Intensitätswerte ( $i_1$ ,  $i_2$ ) benachbarter Intensitätsmaxima ( $I_1$ ,  $I_2$ ) ermittelt und daraus sowie aus der Periodenlänge (L) der Welligkeit (26) auf die Tiefe (T) der Wellentäler zwischen den Wellenkämmen (27) geschlossen wird.

7. Anordnung zum Erkennen kleiner, periodischer Welligkeiten in der Oberfläche eines Werkstücks, umfassend eine auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche definiert aufsetzbare Meßvorrichtung, mit einer einen Primärlichtstrahl monochromatischen, kohärenten Lichtes unter einer bestimmten Richtung auf die Werkstückoberfläche richtenden Primärlichtquelle und einer die von der Werkstückoberfläche zu-

rückgeworfene Streulichtkeule einfangenden Sekundärlicht-Anzeige in der Meßvorrichtung, insbesondere zum Ausüben des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
gekennzeichnet durch die Gemeinsamkeit folgender Merkmale der Meßvorrichtung:

- zumindest im Bereich des Austritts des Primärlichtstrahls (7) aus der Meßvorrichtung (1) ist dieser so gerichtet (16), daß er bei ordnungsgemäßem Aufsetzen der Meßvorrichtung (1) auf das Werkstück (11) unter einem bestimmten Winkel im Bereich von  $83\pm2^\circ$  auf die zu untersuchende Werkstückoberfläche (12) auftrifft,
- die Meßvorrichtung (1) ist so ausgebildet, daß sie nach dem Aufsetzen auf die Werkstückoberfläche (12) bezüglich des Primärstrahls (7) zumindest annähernd quer zu etwai- gen zu erwartenden periodischen Welligkeiten (26) der Werkstückoberfläche (12) ausrichtbar ist,
- die Sekundärlicht-Anzeige fängt die Streulichtkeule unmittelbar, d.h. ohne Abbildungsoptik, als Beugungsbild der Welligkeit (26) ein, wobei die Intensitätsverteilung im Beugungsbild auswertbar ist.

8. Anordnung nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet, daß das Gerät (1) im Bereich der Aufsetzfläche (2) auf die Werkstückoberfläche (12) ein Austrittsfenster umschließt in dessen seitlicher Begrenzung optische Umlenkelemente wie Spiegel (14, 15) oder Umlenkprisma für den Primärstrahl (7) und für den Sekundärstrahl (8) angeordnet sind, die diese in der Weise raumsparend abgewinkeln, daß der vor dem Primärstrahl-Umlenkelement (14) liegenden Strahlanteil des Primärstrahls und der hinter dem Sekundärstrahl-Umlenkelement (15) liegenden Strahlanteil des Sekundärstrahls zumindest angenähert quer zur Werkstückoberfläche (12) ausgerichtet ist.

9. Anordnung nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, daß

die optischen Umlenkelemente (14, 15) derart angeordnet sind, daß der vor dem Primärstrahl-Umlenkelement (14) liegenden Strahlanteil des Primärstrahls (7) einerseits und der hinter dem Sekundärstrahl-Umlenkelement (15) liegenden Strahlanteil des Sekundärstrahls (8) andererseits sich gegenseitig überkreuzen.

10. Anordnung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Sekundärlicht-Anzeige als die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes visuell sichtbar machende Mattscheibe (10) ausgebildet ist.

11. Anordnung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Sekundärlicht-Anzeige als eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes messende, zeilenförmige oder flächendeckende Matrix einer Vielzahl lichtempfindlicher Sensoren ausgebildet ist.

12. Anordnung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß in der Sekundärlicht-Anzeige sowohl eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes visuell sichtbar machende Mattscheibe (10) als auch eine die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes messende, zeilenförmige oder flächendeckende Matrix aus einer Vielzahl lichtempfindlicher Sensoren angeordnet ist, denen der Sekundärstrahlengang über einen Strahlteiler oder über einen Klappspiegel zugänglich ist.

13. Anordnung nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, daß an die Meßvorrichtung (1) eine digital arbeitende Kamera (23) adaptiert (22) ist, mit der die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes des Sekundärstrahlenganges (8) registrierbar ist.

.000.

A.9

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT  
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESES**

# PCT

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <b>29524/W0/1</b>	<b>WEITERES VORGEHEN</b>	siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5
Internationales Aktenzeichen <b>PCT/EP 99/06591</b>	Internationales Anmelde datum (Tag/Monat/Jahr) <b>07/09/1999</b>	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) <b>08/10/1998</b>
Anmelder		
<b>DAIMLERCHRYSLER AG et al.</b>		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt **4** Blätter.

Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

### 1. Grundlage des Berichts

- a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

- Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.
- b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nukleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das
- in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
  - zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
  - bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
  - bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
  - Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
  - Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2.  **Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen** (siehe Feld I).

3.  **Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung** (siehe Feld II).

### 4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung

- wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
- wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

**VERMESSEN KLEINER, PERIODISCHER WELLIGKEITEN IN OBERFLÄCHEN**

### 5. Hinsichtlich der Zusammenfassung

- wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
- wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

### 6. Folgende Abbildung der **Zeichnungen** ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 2

- wie vom Anmelder vorgeschlagen
- weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.
- weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.
- keine der Abb.

**INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/06591

Feld III

**WORTLAUT DER ZUSAMMENFASSUNG (Fortsetzung von Punkt 5 auf Blatt 1)**

Die Zusammenfassung ist wie folgt zu ändern:

Zeile 14: Der mit den Worten "dessen Intensitätsverteilung..." beginnende und den Worten "...werden kann." endende Teil ist zu streichen.

Zeile 22: Der mit den Worten "Die Intensitätsverteilung..." beginnende und den Worten "... gefaltet ist." endende Teil ist zu streichen.

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/06591

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
**IPK 7 G01B11/30 G01N21/88**

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
**IPK 7 G01B G01N**

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie <sup>a</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 3 850 526 A (COREY H) 26. November 1974 (1974-11-26) Spalte 3, Zeile 43 - Spalte 4, Zeile 58	1,5,7,8
Y	Spalte 5, Zeile 16 - Spalte 6, Zeile 36; Anspruch 1; Abbildungen 1,8-12,15 ---	6
X	US 5 189 490 A (SHETTY DEVDAS ET AL) 23. Februar 1993 (1993-02-23) Spalte 3, Zeile 11 - Spalte 4, Zeile 63 Zusammenfassung; Abbildungen 1,3	1,5,7, 11-14
X	US 3 782 827 A (NISENSON P ET AL) 1. Januar 1974 (1974-01-01) Spalte 5, Zeile 24 - Spalte 7, Zeile 35; Abbildungen 1,2,7 ---	1,5,7 -/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- <sup>a</sup> Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :  
 "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist  
 "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist  
 "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)  
 "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht  
 "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist  
 "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden  
 "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist  
 "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
---	---

20. Dezember 1999

12/01/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Arca, G

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/06591

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	HAIMING WANG: "DIFFRACTION OF LIGHT FROM OPTICAL DISKS" OPTICAL ENGINEERING, US, SOC. OF PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS. BELLINGHAM, Bd. 34, Nr. 4, 1995, Seite 1098-1104 XP000497477 ISSN: 0091-3286 das ganze Dokument -----	6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/06591

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3850526 A	26-11-1974	NONE	
US 5189490 A	23-02-1993	NONE	
US 3782827 A	01-01-1974	NONE	